



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - RF1415001**

**PEMETAAN STRUKTUR SITUS SENDANG AGUNG  
MENGUNAKAN METODE *GROUND PENETRATING RADAR***

MIFTAKHUL SYAIFUDDIN  
NRP. 03411440000007

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Amien Widodo M.Si.  
NIP. 19591010 198803 1002

Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si, M.T.  
NIP. 19890612 201504 1003

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2019

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - RF1415001**

**PEMETAAN STRUKTUR SITUS SENDANG AGUNG  
MENGUNAKAN METODE *GROUND PENETRATING RADAR***

MIFTAKHUL SYAIFUDDIN  
NRP. 0341144000011

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Amien Widodo M.Si.  
NIP. 19591010 198803 1002

Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si, M.T.  
NIP. 19890612 201504 1003

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2019

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**UNDERGRADUATE THESES - RF1415001**

**STRUCTURE MAPPING OF SENDANG AGUNG SITE USING  
*GPR* METHOD**

MIFTAKHUL SYAIFUDDIN  
NRP. 0341144000011

Advisor  
Dr. Ir. Amien Widodo M.Si.  
NIP. 19591010 198803 1002

Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si, M.T.  
NIP. 19890612 201504 1003

GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF CIVIL ENVIRONMENTAL AND GEOENGINEERING  
INSTITUTE TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2019

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

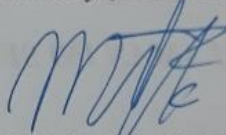
## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan **“Pemetaan Struktur Situs Sendang Agung Menggunakan Metode *Ground Penetrating Radar*”** adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima konsekuensi hukum yang berlaku.

Surabaya, 21 Januari 2019



Miftakhul Syaiquddin  
NRP. 0341144000007

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



**PEMETAAN STRUKTUR SITUS CANDI SENDANG  
AGUNG MENGGUNAKAN METODE *GPR* TUGAS AKHIR**

**TUGAS AKHIR**

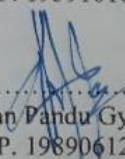
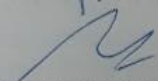

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar sarjana teknik

Pada

Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihhann  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Surabaya, 23 Januari 2019

Menyetujui,

1. ....  
Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si. (Pembimbing I)  
NIP. 19591010 198803 1002
2. ....  
 Juan Pandu Gya Nur Rochman, S.Si, M.T. (Pembimbing II)  
NIP. 19890612 201504 1003
3. ....  
 Anik Hilyah S.Si, M.T. (Penguji I)  
NIP. 19790813 200812 2002
4. ....  
 Wien Lestari, S.T., M.T. (Penguji II)  
NIP. 19811002 201212 2003

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Geofisika Tekni Lingkungan  
Departemen Teknik Geofisika  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya



Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si.  
NIP. 19591010 198803 1002

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

# PEMETAAN STRUKTUR SITUS CANDI SENDANG AGUNG MENGGUNAKAN METODE GPR

Nama Mahasiswa : Miftakhul Syaifuddin  
NRP : 03411440000031  
Jurusan : Teknik Geofisika FTSLK-ITS  
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Amien Widodo M.Si  
2. Juan Pandu Gya Nur Rochman S.T.,  
M.T.

## Abstrak

Bangunan situs yang terpendam dapat dipetakan struktur bangunannya menggunakan metode GPR seperti yang telah dilakukan di kawasan Situs Candi Sendang Agung, Dusun Jaretan, Urang Agung, Sidoarjo, Area Sawah, Suko, Kec. Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan peta struktur candi Situs Sendang Agung yang terpendam. Metode yang digunakan adalah *Ground Penetrating Radar* (GPR) karena memiliki resolusi yang tinggi dan tidak merusak. Prinsip GPR memanfaatkan pantulan gelombang elektromagnetik untuk menunjukkan perbedaan konstanta dielektrik lapisan. Jumlah lintasan yang diambil sebanyak 20 dengan luas 20 x 150 meter untuk alat pertama dan 19 lintasan dengan luas 20 x 70 meter untuk alat kedua. Selain 15 lintasan Timur – Barat alat pertama yang memiliki 10 meter spasi, spasi lintasan adalah 5 meter. Grid spasi lintasan memberi gambaran 3 dimensi data GPR dengan parameter amplitudo. Bentuk hasil 3 dimensi ditunjukkan dalam data isosurface data sebagai kenampakan bangun candi bawah permukaan. Nilai amplitudo gelombang dapat menentukan nilai konstanta dielektrik yang berbeda. Perbedaan konstanta dielektrik menunjukkan beda kerapatan medium yang dilewati gelombang elektromagnetik. Kedalaman akurat yang dibentuk oleh alat pertama GPR frekuensi 750 MHz adalah 3 meter. Sedangkan alat kedua GPR frekuensi 150 MHz adalah 6 meter. Berdasarkan pengukuran menggunakan metode GPR terdapat kemenerusan dengan Situs Candi Sendang Agung berupa batu bata yang ditemukan pada kedalaman 1 – 2,4 meter dengan konstanta dielektrik 8,14 – 9,42. Terdapat lapisan kedua pada kedalaman 2,4 – 3,2 meter yang lebih luas. Struktur bangunan memiliki dimensi panjang 150 meter, lebar 5-10 meter dan ketinggian total 2,2 meter.

*Kata Kunci: struktur situs, konstanta dielektrik, GPR, Situs Sendang Agung*

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

# PEMETAAN STRUKTUR SITUS CANDI SENDANG AGUNG MENGGUNAKAN METODE GPR

Nama Mahasiswa : Miftakhul Syaifuddin  
NRP : 03411440000031  
Jurusan : Teknik Geofisika FTSLK-ITS  
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si  
2. Juan Pandu Gya Nur Rochman S.T.,  
M.T

## ***Abstract***

*The burried site building can be mapped with the structure of the building using the GPR method as has been carried out in the area of the Sendang Agung Temple, Jaretan Hamlet, Urang Agung, Sidoarjo, Sawah Area, Suko, Kec. Sidoarjo, Sidoarjo Regency. The purpose of this study was to obtain a buried map of the site structure of the Sendang Agung Site. The method used is Ground Penetrating Radar (GPR) because it has a high resolution and is not destructive. The principle of GPR utilizes the reflection of electromagnetic waves to show the difference in the dielectric constant of the layer. The number of tracks taken is 20 with an area of 20 x 150 meters for first device and 19 tracks with an area of 20 x 70 meters for second device. In addition to the 15 East-West trajectory of device 1 which has 10 meters of space, the track space is 5 meters. Grid spacing paths give a 3-dimensional picture of GPR data with amplitude parameters. The form of 3-dimensional results is shown in the data isosurface data as the appearance of building a subsurface temple. The value of wave amplitude can determine the value of different dielectric constants. Difference in the dielectric constant shows the difference in the density of the medium through which electromagnetic waves pass. Accurate depth formed by first device GPR frequency of 750 MHz is 3 meters. Whereas second device GPR frequency 150 MHz is 6 meters. Based on measurements using the GPR method there is continuity with the Sendang Agung Temple Site in the form of bricks found at a depth of 1 - 2.4 meters with an extracted constant of 8.14 - 9.42. There is also a second layer at a depth of 2.4 - 3.2 meters wider. The structure of building has 150 meters legth, 5-10 meters wide, and total height of 2,2 meters .*

*Keywords: building structure, dielectric constant, GPR, Sendang Agung Site*

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Yang Maha Esa karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga pelaksanaan tugas akhir berjalan lancar dan pembuatan laporan tugas akhir yang berjudul “Pemetaan Struktur Situs Candi Sendang Agung Menggunakan Metode *GPR*” dapat diselesaikan dengan baik.

Dalam penyusunan laporan ini tidak terlepas dari peran berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak, ibu dan keluarga yang telah memberi dukungan moril dan materil selama perkuliahan hingga penyelesaian tugas akhir.
2. Bapak Dr. Widya Utama, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Geofisika ITS yang selalu memberi masukan membangun.
3. Bapak Dr. Ir. Amien Widodo, M.S. dan Bapak Juan Pandu Gya Nur Rohman, S.Si., M.T. selaku dosen pembimbing yang banyak memberi masukan pada tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen Departemen Teknik Geofisika ITS yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis melakukan studi di Departemen Teknik Geofisika ITS.
5. Staf Departemen Teknik Geofisika ITS, atas bantuan teknis dan administrasi yang penulis dapatkan selama menjadi mahasiswa Departemen Teknik Geofisika ITS.
6. *Geoarcheologist Team* yang selalu memberikan dukungan dan kerjasama demi terselesaikannya tugas akhir ini.
7. Keluarga TG-03 yang selalu memberikan dukungan do’a maupun bantuan fisik dan jasa untuk tugas akhir ini
8. Teman – Teman Teknik Geofisika ITS yang telah memberikan dukungan dan semangat.
9. Segenap pihak yang telah membantu dan membimbing penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Dengan segala keterbatasan, Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan untuk pengembangan di masa yang akan datang. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak dan diterima sebagai sumbangan pemikiran dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, 2 Januari 2019

Penulis

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



## DAFTAR ISI

<b>Abstrak .....</b>	<b>i</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>1 BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	2
1.5. Manfaat .....	2
<b>2 BAB II DASAR TEORI.....</b>	<b>3</b>
2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian .....	3
2.2 Persamaan Maxwell .....	4
2.3 Prinsip Dasar Geo Penetrating Radar (GPR) .....	5
2.4 Metoda <i>Ground Penetrating Radar</i> .....	8
2.5 Penelitian Terkait .....	10
<b>3 BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>11</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	11
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian .....	18
<b>4 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>21</b>
4.1 Hasil Data.....	21
4.2 Hasil Pengolahan.....	21
4.3 Pembahasan.....	35
<b>5 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>41</b>
5.1 Kesimpulan .....	41
5.2 Saran .....	41
<b>6 DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>43</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>45</b>
<b>BIODATA .....</b>	<b>47</b>

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Daerah Kenampakan Situs yang Di-eskavasi.....	1
Gambar 2. 1 Peta Geologi Daerah Penelitian.....	3
Gambar 2. 2 Peta Cekungan Air Tanah Jawa Timur .....	4
Gambar 2. 3 Jejak Sinyal <i>Transmitter</i> .....	8
Gambar 2. 4 Komponen Peralatan GPR/RAMAC.....	9
Gambar 2. 5 Diagram Kerja GPR.....	9
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	12
Gambar 3. 2 Diagram Alir Pengolahan data menggunakan MAT-GPR. ....	13
Gambar 3. 3 Contoh Data posisi trace, X, Y, Zurut dari kiri ke kanan.....	14
Gambar 3. 4 Kurva atenuasi pada proses <i>gain Inverse Amplitude Decay</i> .....	15
Gambar 3. 5 Data <i>Mean Spatial Filter</i> .....	16
Gambar 3. 6 K–L filter dengan angka eigenvector 15.....	17
Gambar 3. 7 Data Velocity model lapisan homogen <i>soil loamy dry</i> .....	17
Gambar 3. 8 Data input untuk pembuatan 3D.....	18
Gambar 3. 8 Desain Akuisisi Sendang Agung.....	19
Gambar 4. 1 Data mentah lintasan 1 Timur - Barat Alat 2 Sendang Agung....	21
Gambar 4. 2 Hasil pengolahan <i>basic handling</i> MATT-GPR.....	22
Gambar 4. 3 Hasil pengolahan <i>filtering</i> MAT-GPR.....	22
Gambar 4. 4 Hasil pengolahan <i>imaging</i> MAT-GPR.....	23
Gambar 4. 5 Penampang 3D Alat 1.....	25
Gambar 4. 6 Sayatan 3D Alat 1.....	27
Gambar 4. 7 <i>Isosurface</i> 3D Alat 1.....	28
Gambar 4. 8 Perbandingan penampang sebelum dan sesudah filter global.....	29
Gambar 4. 7 Penampang GPR Alat 2.....	31
Gambar 4. 9 Sayatan 3D Alat 2.....	33
Gambar 4. 10 <i>Isosurface</i> 3D Alat 2.....	34
Gambar 4. 11 <i>Forward Modeling</i> dan penetrasi gelombang EM.....	36
Gambar 4. 12 Penampang Lintasan 3 (Utara-Selatan) Alat 2.....	36
Gambar 4. 13 Denah sumur galian Situs Sendang Agung.....	37
Gambar 4. 14 Korelasi Data Sumur Alat 1.....	38
Gambar 4. 15 Korelasi Data Sumur Alat 2.....	38
Gambar 4. 16 Sumur galian Situs Sendang Agung.....	39
Gambar 7. 1 Proses akuisisi data Situs Sendang Agung.....	46
Gambar 7. 2 Setting kalibrasi alat Situs Sendang Agung.....	46

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai konstanta/permitivitas dielektrik tanah dan batuan.....	8
Tabel 3.1 Hubungan jenis tanah dengan rekomendasi velocity data GPR.....	17
Tabel 4.1 Hubungan jenis medium perambatan gelombang EM dengan nilai konstanta dielektrik.....	35
Tabel 7.1 Daftar kegiatan dan Indikator Ketercapaiannya.....	45

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Sejarah menyimpan nilai-nilai luhur dan peninggalan bangsa Indonesia yang berharga. Salah satu bentuk peninggalan yang memiliki nilai historis tinggi yakni berupa bangunan pada masa kerajaan. Begitu pentingnya sejarah kerajaan disuarakan oleh Ir. Soekarno bahwa wilayah kekuasaan Majapahit (nusantara) dijadikan sebagai wilayah Negara Indonesia. Kerajaan Majapahit menguasai beberapa kerajaan seperti Kerajaan Jenggala yang beribukota di Sidoarjo dan memiliki peninggalan candi dengan ciri khas bangunannya dapat menampung serta mengalirkan air. Situs Candi Sendang Agung yang diduga adalah peninggalan Kerajaan terdahulu memiliki sejarah penting tentang perkembangan teknologi bangunan pada masanya (Pratiknyo, 2016).

Kata Sendang yang berarti kolam di pegunungan dan Agung yang berarti besar menunjukkan begitu pentingnya bangunan ini bagi masyarakat lampau. Sendang Agung ini juga menceritakan bahwa masyarakat lampau sudah memiliki teknologi pengaturan dan penyaluran air yang tidak kalah canggih. Teknologi bangunan pengaturan air ini sangat bernilai untuk dipelajari. Oleh karena itu perlu dilakukan eksplorasi GPR untuk mengetahui struktur bangunan candi dengan kedalaman dangkal yaitu sampai 5-6 meter.



Gambar 1. 1 Daerah kenampakan situs yang di-eskavasi.(Jawa Pos, 2015)

Metode geofisika yang paling tepat untuk memetakan struktur bangunan candi di Sendang Agung ini adalah metode GPR (*Ground Penetrating Radar*).

Metode Georadar cocok untuk *profiling* struktur bawah permukaan yang rentan karena prinsip gelombang yang dimanfaatkan tidak merusak seperti gelombang seismik (Pasasa, 1999). Metode ini memanfaatkan sifat pantulan gelombang elektromagnetik karena perbedaan konstanta dielektrik dengan *stacking pulse* yang banyak sehingga memiliki kemampuan pengukuran dengan akurasi tinggi (Lane dkk, 1996). Hasil pengolahan dan interpretasi selanjutnya digunakan untuk menemukan bangunan candi yang terpendam.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Perumusan masalah dari penulisan tugas akhir ini yakni bagaimana bentuk struktur bangunan candi Situs Sendang Agung yang terpendam, serta bagaimana hasil identifikasinya menggunakan metode GPR.

## **1.3. Tujuan**

Tujuan penulisan tugas akhir ini yakni untuk mendapatkan peta 3D bangunan Situs Sendang Agung yang terpendam menggunakan Metode GPR.

## **1.4. Batasan Masalah**

Batasan masalah dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian berada di atas wilayah Situs Candi Sendang Agung dengan desain akuisisi yang mengelilingi tempat ditemukannya situs.
2. Pengukuran dilakukan dengan metode GPR dan target kedalaman sampai 6 meter.
3. Pengukuran hanya bertujuan memetakan bentuk struktur tanpa melakukan penelitian pada kondisi tanah dan kandungannya.

## **1.5. Manfaat**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

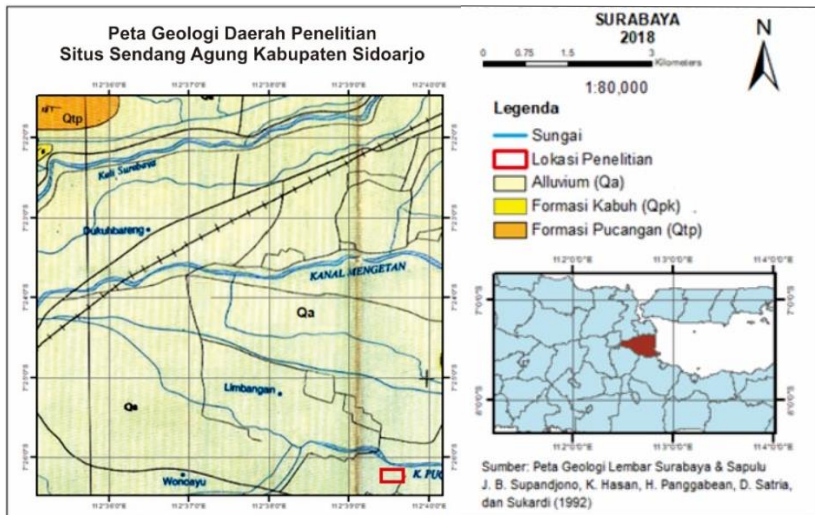
1. Bentuk penerapan ilmu geofisika berupa metode *Ground Penetrating Radar* dalam membantu identifikasi situs-situs arkeologi di Situs Sendang Agung Desa Urang Agung, Kabupaten Sidoarjo.
2. Wujud keikutsertaan dalam mempelajari, memelihara dan mengungkapkan warisan sejarah nusantara dan budaya bangsa yang belum terungkap.
3. Sumber referensi Situs Sendang Agung bagi peneliti lain yang ingin mengembangkan penelitian ini lebih lanjut.



## BAB II DASAR TEORI

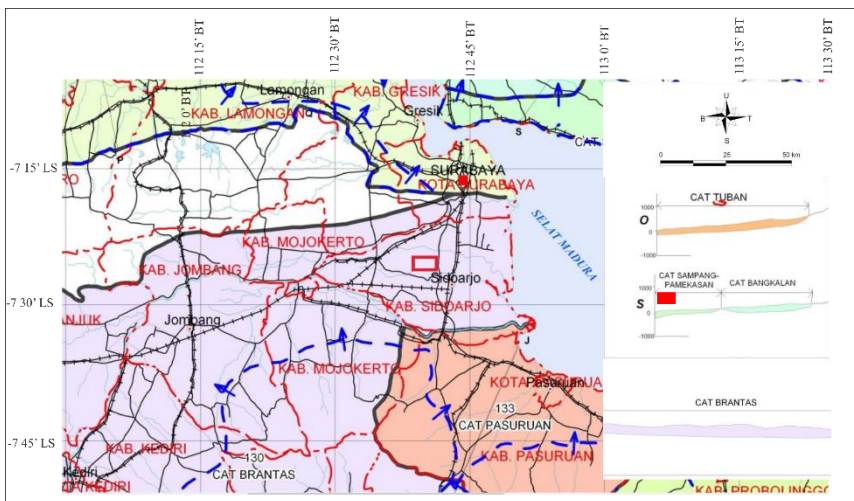
### 2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian

Situs Sendang Agung menurut geologi regional termasuk dalam peta geologi lembar Surabaya-Sapulu dan secara administratif masuk ke dalam Kabupaten Sidoarjo. Peta geologi regional Surabaya-Sapulu didominasi oleh endapan alluvium (Qa) yang ditandai warna putih pada peta geologi di bawah ini (Bemmelen, 1949). Lokasi Situs Sendang Agung dapat ditemukan pada aplikasi *google earth* dengan nama Dusun Jaretan, Urang Agung, Sidoarjo, Area Sawah, Suko, Kec. Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur 61234. Titik pengukuran ditunjukkan oleh gambar persegi empat berwarna merah pada peta geologi Surabaya Sapulu pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Peta Geologi Lembar Surabaya-Sapulu. ( Sumber: Supardjono dan Haryono, 1992)

Lokasi persawahan yang datar memungkinkan persebaran air lebih merata. Situs Candi sendang Agung terletak pada daerah Cekungan Air Tanah Brantas. CAT (Cekungan Air Tanah)) Brantas mencakup semua wilayah Kabupaten dan Kota Sidoarjo. Pada gambar Peta Cekungan Air Tanah Jawa Timur, daerah lokasi penelitian yang berwarna merah kotak warna ungu muda. Dominasi warna ungu muda mencakup area yang luas termasuk area Mojokerto, Jombang hingga beberapa kota dan kabupaten yang dilalui Sungai Brantas.



Gambar 2.2 Peta Cekungan Air Tanah Jawa Timur. ( Sumber: Geochem Survey 2017)

## 2.2 Persamaan Maxwell

Gelombang elektromagnetik atau sering disebut dengan gelombang EM adalah gelombang yang menjalarnya tak perlu medium. Dasar dari gelombang EM adalah teori-teori listrik dan magnet yang kemudian diringkas menjadi sekumpulan persamaan yang disebut persamaan Maxwell. Salah satu persamaan Maxwell memprediksi bahwa perubahan waktu terhadap medan listrik akan menghasilkan medan magnet, seperti halnya adanya perubahan medan magnet yang menghasilkan medan listrik sesuai hukum Faraday. Melalui dasar ini Maxwell mengawali suatu konsep bahwa arus *displacement* merupakan sumber dari medan magnet. Teori Maxwell menyediakan hubungan penting antara medan listrik dengan medan magnet.

Awalnya Maxwell memprediksi bahwa gelombang EM menjalar dengan kecepatan jalar seperti kecepatan jalar cahaya. Penaksiran ini dibuktikan oleh Hertz secara eksperimen, dan dia merupakan orang pertama yang meneliti gelombang EM. Penemuan ini telah mengawali beberapa ilmu tentang sistem komunikasi seperti radio, televisi dan radar. Pada tingkat konseptual, Maxwell menggabungkan masalah cahaya dan gelombang EM, kemudian membangun ide bahwa cahaya adalah bentuk dari radiasi elektromagnetik. Gelombang EM dibentuk oleh muatan listrik yang dipercepat. Gelombang diradiasi terdiri dari medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus dan juga kedua duanya tegak lurus arah penjalarnya. Dengan demikian gelombang EM adalah gelombang transversal. Oleh Maxwell ditunjukkan bahwa amplitudo-amplitudo medan listrik dan medan magnet ( $E$  &  $B$ ) dalam gelombang EM mempunyai hubungan  $E = c B$ , dengan  $c$  adalah kecepatan cahaya (Hugenschmidt dkk, 1997).

Pada jarak yang cukup jauh dari sumber gelombang, amplitudo dari getaran medan akan mengecil terhadap jarak, sebagai perbandingan ( $1/r$ ). Gelombang EM juga mempunyai momentum dan energi sehingga dapat menghasilkan tekanan terhadap materi yang dijumpai. Gelombang EM mempunyai banyak frekuensi. Sebagai contoh gelombang radio adalah gelombang EM yang dihasilkan oleh osilasi arus di menara antenna radio. Pemancaran gelombang cahaya adalah bentuk frekwensi tinggi dari radiasi EM yang dihasilkan oleh osilasi elektron dalam sistem atom. Hukum hukum dasar dari medan listrik dan magnet mendasari persamaan-persamaan Maxwell. Persamaan ini merupakan unified teori dari EM.

Persamaan tersebut adalah :

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (1)$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0 \quad (2)$$

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{L} = - \frac{d\phi_B}{dt} \quad (3)$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{L} = \mu_0 J + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt} \quad (4)$$

B = Medan magnet (Tesla)

E = Energi Magnetik

Penggabungan dari persamaan-persamaan diatas dapat diturunkan suatu bentuk persamaan gelombang EM. Untuk ruang hampa, solusi persamaan gelombang tersebut menghasilkan kecepatan jalar gelombang sebesar  $(\mu_0 \epsilon_0)^{1/2}$ , yang mana nilai ini sama dengan kecepatan jalar cahaya. Hasil ini mengawali Maxwell untuk memprediksi bahwa gelombang cahaya adalah bentuk radiasi gelombang. (Daniel, 1996)

## 2.3 Prinsip Dasar Geo Pentrating Radar (GPR)

### 2.3.1 Kecepatan Gelombang Radar

Dalam setiap perambatan gelombang dikenal istilah kecepatan (velocity). Kecepatan gelombang radar sangat bergantung pada konstanta dielektrik dari medium yang dilalui oleh gelombang tersebut (Alan E. Musset, M. Aftab Khan, 1999).

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_y}} \quad (5)$$

Melalui  $v$  sebagai kecepatan gelombang radio merambat dalam tanah (m/s) sama dengan  $c$  yaitu kecepatan cahaya (m/s) yang dihitung dalam satuan akar  $\epsilon_r$  (konstanta dielektrik relatif) dapat diketahui konstanta dielektrik suatu lapisan. Konstanta dielektrik merupakan satuan konstan yang dimiliki oleh medium untuk menunjukkan parameter kecepatan gelombang elektromagnetik yang melewatinya. Gelombang elektromagnetik seperti cahaya mampu melewati ruang angkasa dengan kecepatannya yaitu  $c$ . Kecepatan ini kemudian dapat berubah ketika memasuki medan seperti air misalnya. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan kecepatan antara di ruang hampa dan di medium air. Maka dari itu terciptalah hubungan antara *velocity* pada medium dengan kecepatan  $c$  yang berdasarkan akar dari konstanta dielektrik medium tersebut.

Persamaan diatas mendefinisikan bahwa ketika gelombang radar melalui material atau benda di bawah permukaan yang memiliki konstanta dielektrik yang tinggi, maka gelombang tersebut akan merambat dengan kecepatan yang lebih rendah dan sebaliknya. Sebagai contoh udara yang memiliki konstanta dielektrik 1 dan air yang memiliki konstanta dielektrik 80 memiliki kontras kecepatan yang sangat tinggi, dimana gelombang radar akan memiliki kecepatan yang lebih tinggi pada udara dibandingkan pada air. Adanya kontras konstanta dielektrik pada batas permukaan menyebabkan gelombang radar akan terpantulkan (terefleksikan) dengan koefisien refleksi:

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_2} - \sqrt{\epsilon_1}}{\sqrt{\epsilon_2} + \sqrt{\epsilon_1}} \quad (6)$$

**$R$  = koefisien refleksi**

**$\epsilon_1$  = konstanta dielektrik lapisan pertama**

**$\epsilon_2$  = konstanta dielektrik lapisan kedua**

(Daniel, 1996)

Besarnya penetrasi atau kedalaman yang dapat dicapai oleh gelombang radar sangat bergantung pada besar kecilnya frekuensi yang digunakan. Semakin kecil frekuensi atau semakin besar panjang gelombang yang digunakan, maka akan semakin besar penetrasi yang dapat dicapai oleh gelombang dan sebaliknya. Besarnya penetrasi juga dipengaruhi oleh konduktivitas material, dimana konduktivitas yang tinggi akan menyebabkan penetrasi lebih dangkal karena terjadinya absorpsi oleh lapisan-lapisan yang konduktif (Connor, Sanford, & MacNeil, 2005).

Penentuan frekuensi gelombang radar yang digunakan juga akan berpengaruh pada resolusi hasil rekaman data. Ketika menggunakan frekuensi

yang rendah akan diperoleh penetrasi yang dalam, akan tetapi resolusi yang dihasilkan akan semakin buruk. Maka, untuk menghasilkan resolusi yang baik digunakan frekuensi yang besar.

### **Atenuasi Gelombang Radar**

Gelombang Elektromagnetik akan mengalami atenuasi dengan hamburan atenuasi yang dinyatakan sebagai koefisien atenuasi  $\alpha$  (Quan, Y., Harris, Y. M., 1997). Energi elektromagnetik akan menurun sesuai kedalaman dapat dinyatakan

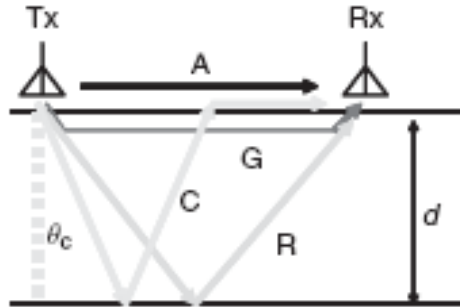
$$E = E_0 e^{-\alpha_s r} \quad (7)$$

E sebagai energi magnetic memiliki persamaan dengan  $E_0$  yaitu Energi magnetic awal yang memiliki pangkat  $\alpha_s$  sebagai koefisien atenuasi dan  $r$  wujud kedalaman dan koefisien atenuasi adalah

$$\alpha_s = \frac{NA}{2} \quad (8)$$

N menunjukkan jumlah unit dan A adalah hamburan atenuasi. Koefisien refleksi (R) didefinisikan sebagai perbandingan energi yang dipantulkan dengan yang datang, nilainya (R) bergantung pada konstanta dialetrik relatif  $\epsilon$  lapisan 1 dan lapisan 2, adalah ukuran kapasitas dari sebuah material dalam hal ini melewati muatan saat medan elektromagnetik melewatinya.

Secara teknisnya saat pengukuran di lapangan, hasil praktis dari radiasi gelombang elektromagnetik ke bawah permukaan untuk pengukuran GPR ditunjukkan dengan prinsip operasi dasar yang diilustrasikan pada Gambar 2.4 Gelombang elektromagnetik terpancar dari antena pemancar, bergerak melalui material dengan kecepatan yang ditentukan terutama oleh permitivitas material. Gelombang menyebar keluar dan perjalanan ke bawah hingga menabrak objek yang berbeda sifat kelistrikannya dari medium sekitarnya, tersebar dari obyek, dan kemudian terdeteksi oleh antena penerima.



Gambar 2.3 Jejak sinyal dari *transmitter* menbrak material di bawah permukaan.

A adalah *direct airwave*, G adalah *direct ground wave*, dan R adalah gelombang refleksi, dan C adalah gelombang refraksi (Arisona, 2009).

Tabel 2.1 Nilai konstanta/permitivitas dielektrik tanah dan batuan.

No	Jenis Tanah	$\epsilon_r$ (Jacob, 2015)	$\epsilon_r$ (Daniel, 1996)
1	<i>Soil sandy dry</i>		4 – 6
2	<i>Soil sandy wet</i>		15 – 30
3	<i>Soil loamy dry</i>		4 – 6
4	<i>Soil loamy wet</i>		15 – 30
5	<i>Soil clayey dry</i>		4 – 6
6	<i>Soil clayey wet</i>		10 - 15
7	<i>Brick wall</i>	3.88 – 4.26	
8	<i>Concrete Brick</i>	7.63 – 9.54	

## 2.4 Metoda Ground Penetrating Radar

*Ground Penetrating Radar (GPR)* adalah salah satu metode survey aktif yang sumbernya berasal dari antenna emancar elektromagnetik untuk menembus *soil*, bangunan dan kondisi bawah permukaan (dalam interval beberapa sentimeter hingga kedalaman 60 meter). Metode *GPR* ini menggunakan analisa refleksi/pantulan dari gelombang elektromagnetik yang dihasilkan akibat dari perbedaan sifat /konstanta dielektrik benda-benda di bawah permukaan.

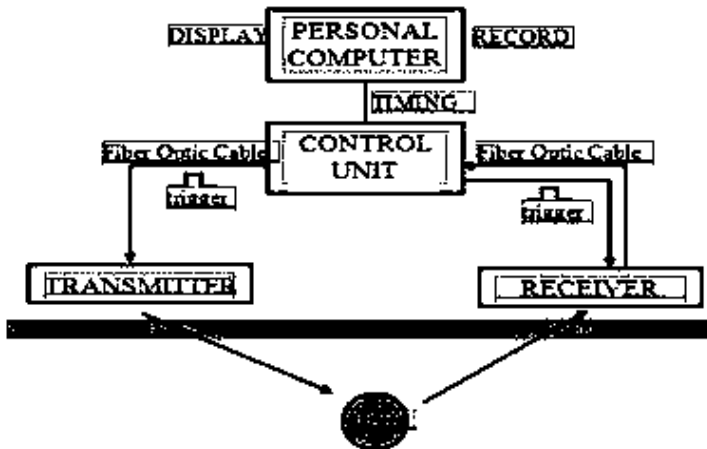
Secara umum peralatan *GPR* terdiri dari dua komponen utama yaitu peralatan pemancar gelombang radar (*transmitter*) dan peralatan penerima pantulan/ refleksi gelombang radar (*tranceiver*). Sistem yang digunakan adalah merupakan sistem aktif dimana dilakukan ‘penembakan’ pulsa-pulsa gelombang elektromagnetik (pada interval gelombang radar) untuk kemudian dilakukan perekaman intensitas gelombang radar yang berhasil dipantulkan kembali ke permukaan (Quan, Y., Harris, Y. M., 1997).

*Ground Penetrating Radar (GPR)* terdiri dari *control unit*, *transmitter*, *receiver*, *note book*, kabel serat optik dan tambahan alat lain untuk *trigger*.

Dengan frekuensi antenna yang bermacam-macam, seperti 25 MHz, 50 MHz, 100 Mhz, 200 MHz, 500 Mhz dan 1000 MHz sedangkan yang dipakai pada penelitian adalah 750 MHz.



Gambar 2.4 Komponen/peralatan GPR/RAMAC (Sandmierer, 2012).



Gambar 2.5 Diagram kerja GPR (Arisona, 2009).

*Control unit* berfungsi sebagai pengatur pengumpulan data. Komputer memberikan informasi lengkap bagaimana prosedur yang harus dilakukan, dan saat sistem diaktifkan, *control unit* mengatur *transmitter* dan *receiver*. *Control unit* menyimpan data mentah dalam sebuah *buffer* sementara dan saat dibutuhkan, dapat diambil dan ditransfer ke komputer. *Transmitter* menghasilkan energi elektromagnetik dan mengirimnya pada daerah sekitar,

khususnya ke dalam medium yang diobservasi. Energi dalam bentuk pulsa pada amplitudo tinggi (370 V) yang dipindahkan ke bagian antena.

*Receiver* mengkonversi sinyal yang diterima oleh antena menjadi nilai *integer*. Dalam unit *receiver* terdapat dua konektor optik, pertama digunakan untuk mentransfer sinyal terkontrol dari *control unit* (bertanda R) dan lainnya mengirim data yang diperoleh ke *control unit* (bertanda D). *Antenna receiver* menerima pulsa yang tidak terabsorpsi oleh bumi tetapi dipantulkan dalam domain waktu tertentu. Mode konfigurasi antena *transmitter* dan *receiver* pada *GPR* terdiri dari mode monostatik dan bistatik. Mode monostatik yaitu bila *transmitter* dan *receiver* digabung dalam satu antena sedangkan mode bistatik bila kedua antena memiliki jarak pemisah.

Prinsip kerja *GPR* adalah *Transmitter* membangkitkan pulsa gelombang elektromagnetik pada frekuensi tertentu sesuai dengan karakteristik antena

tersebut (10 Mhz-4Ghz). *Receiver* diset untuk melakukan scan yang secara normal mencapai 32 – 512 scan per detik. Setiap hasil scan ditampilkan pada layar monitor sebagai fungsi waktu *two-way time travel time*, yaitu waktu tempuh gelombang elektromagnetik menjalar dari *transmitter* – target – *receiver*. Tampilan ini disebut dengan radargram (Lane dkk, 1996).

## 2.5 Penelitian Terkait

Situs purbakala Sendang Agung telah diteliti oleh beberapa tim, salah satunya adalah tim dari Departemen Fisika Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam ITS Surabaya. Penelitian tersebut dilakukan oleh Vidi Yoga sebagai *thesis undergraduate student* tahun 2016 dengan judul “Investigasi Batuan Purbakala Menggunakan Metode Resistivitas: Studi Kasus di Situs Sendang Agung, Desa Urangagung, Kecamatan Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo”. Menurut Vidi Yoga metode yang cepat dan mudah untuk identifikasi situs purbakala Sendang Agung adalah geolistrik konfigurasi Wenner-Schlumberger. Metode ini efektif untuk menentukan posisi situs purbakala Sendang Agung yang baru saja ditemukan di Desa Urangagung Kecamatan Sidoarjo Kabupaten Sidoarjo. (Yoga, 2016)

Penelitian 2016 tersebut mengukur data resistivitas dua dimensi sebanyak sepuluh lintasan. Data yang terukur merupakan resistivitas semu yang perlu proses inversi untuk menghasilkan nilai resistivitas sebenarnya. Dari proses ini, didapatkan anomali resistivitas pada lintasan 8 yang beririsan dengan lintasan 1 dan 2 dengan nilai  $> 200 \Omega.m$  pada kedalaman 2 meter. Selain itu, anomali juga terdeteksi pada lintasan 10 yang beririsan dengan lintasan 4, 5 dan 6 pada kedalaman. 2,5 meter - 5 meter. Ini berkorelasi dengan nilai resistivitas sampel batu bata yang di uji laboratorium dalam kondisi basah ( $\pm 200 \Omega.m$ ). Oleh karena itu, anomali ini diinterpretasikan sebagai sebaran batu bata kuno yang terpendam. Hasil interpretasi menunjukkan bahwa sebaran batu bata pada situs ini berada di kedalaman hingga 3,8 meter pada daerah selatan dan barat situs utama, sedangkan pada daerah utara dan timur situs utama terdapat sebaran batu bata kuno di kedalaman 1,6 meter - 2,3 meter.



## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian pemetaan struktur Situs Sendang Agung dilakukan dengan beberapa tahapan yang diuraikan sebagai berikut :

1. Survey Pendahuluan

Survey pendahuluan meliputi penentuan dan penggambaran lokasi penelitian secara langsung dengan kombinasi peta geologi Surabaya Sapulu.

2. Desain Akuisisi GPR

Penentuan desain akuisisi data GPR adalah menyesuaikan bentuk pematang sawah yaitu lintasan selatan-utara dengan spasi 5 meter. Lintasan timur – barat memiliki spasi 10 meter pada alat 1 untuk mendapatkan lintasan yang lebar dan spasi 5 meter pada alat 2 untuk mendapatkan lintasan yang rapat. Desain akuisisi dibuat dengan lintasan dengan kondisi menghindari air agar mendapat data yang bagus.

3. Pengukuran GPR dan Manajemen Data

Pengukuran GPR menggunakan lintasan ular dengan proses jeda pada setiap ujung lintasan. Alat GPR yang digunakan memiliki frekuensi 750 MHz (alat 1) dan 150 MHz (alat 2) sehingga kedalaman maksimal yang didapat adalah sekitar 3-4 meter dan 6-7 meter di bawah tanah. Perlu dilakukan manajemen data setelah pengukuran untuk mendapatkan lintasan dengan arah yang sama mengingat pengukurannya menggunakan lintasan dengan arah yang berbeda – beda.

4. Pengolahan Data GPR Menggunakan MAT-GPR

Data GPR diolah dengan menggunakan MAT-GPR yang terdiri dari *basic handling, filtering, imaging dan 3D utility* sesuai diagram alir yang tersebut pada gambar 3.2.

5. Analisis

Proses Analisis data GPR membandingkan tiga komponen yaitu Data Mentah, Data Hasil Pengolahan dan Data Geologi atau data sumur yang diartikan sebagai dominasi karakteristik tanah serta data bentuk kenampakan bangunan candi yang telah digali di lapangan.

6. Data Sumur dan Forward Modeling

Data sumur galian menunjukkan terdapat kenampakan struktur bangunan sedalam 1 meter. Struktur bangunan ditunjukkan dengan garis putus – putus berwarna merah. Penggalan sumur dilakukan pada tahun 2014 dan kondisi 2018 sudah tertutup oleh air sehingga tidak dapat didokumentasikan. Menurut tim penggali situs sekaligus pemilik area persawahan yaitu Bapak Gintono dalam wawancaranya lapisan pertama situs ditemukan di kedalaman sekitar 1,5 meter dan menemukan lapisan kedua pada kedalaman sekitar 3 meter diukur dari tanah urukan.

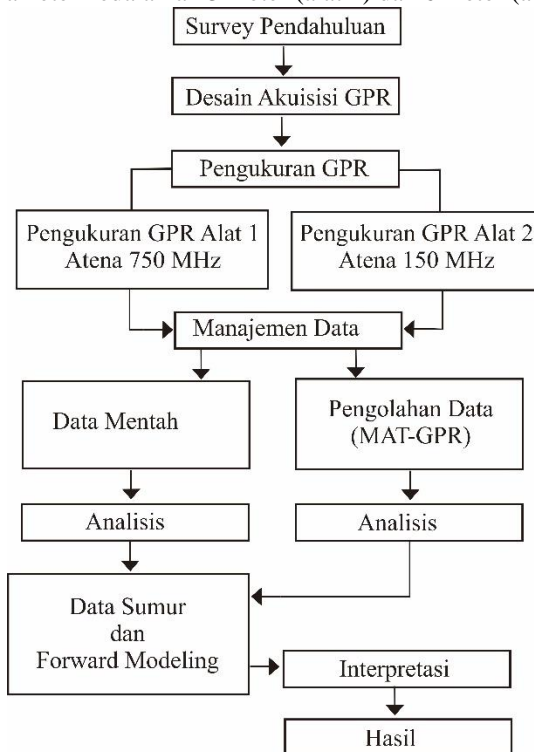
Prosedur atau cara membaca data dapat dibuktikan dengan metode *Forward Modeling*. Metode ini bertujuan untuk membandingkan kenampakan yang menunjukkan adanya batu bata pada data pengukuran apakah sama dengan model batu bata yang dibuat dalam MAT-GPR. Pembuatan model diisi dengan parameter antena alat GPR, konstanta dielektrik tanah yaitu 4 dan batu bata yaitu 9. Kemiripan gambar penampang data pengukuran dengan data *forward modeling* membuktikan bahwa data pengukuran telah dibaca dengan tepat.

#### 7. Interpretasi

Hasil analisa menunjukkan kesinambungan hubungan antara data geologi dan data sumur dengan penampang 3D yang melalui alat 1 dan alat 2. Anomali yang terlihat pada sebuah lintasan diasumsikan bahwa menyebar pada lintasan-lintasan di sekitarnya. Proses interpretasi didukung dengan data pembandingan penelitian-penelitian sebelumnya.

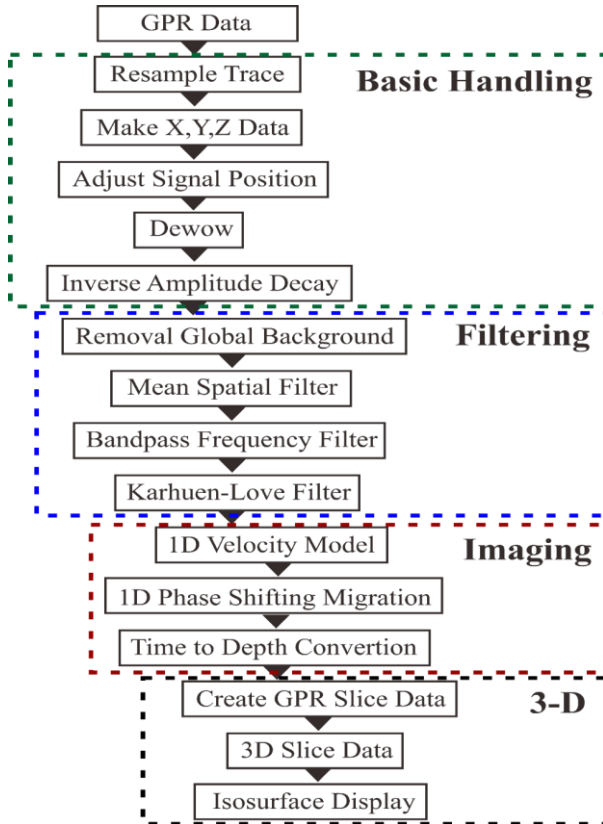
#### 8. Hasil

Bentuk hasil akhir dari pengolahan data GPR berupa *Isosurface Display* 3D dengan parameter kedalaman 3 meter (alat 1) dan 6 meter (alat 2).



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.

## Pengolahan Data (MAT-GPR)



Gambar 3. 2 Diagram Alir Pengolahan data menggunakan MAT-GPR.

Penjelasan diagram alir pengolahan data GPR menggunakan MAT-GPR :

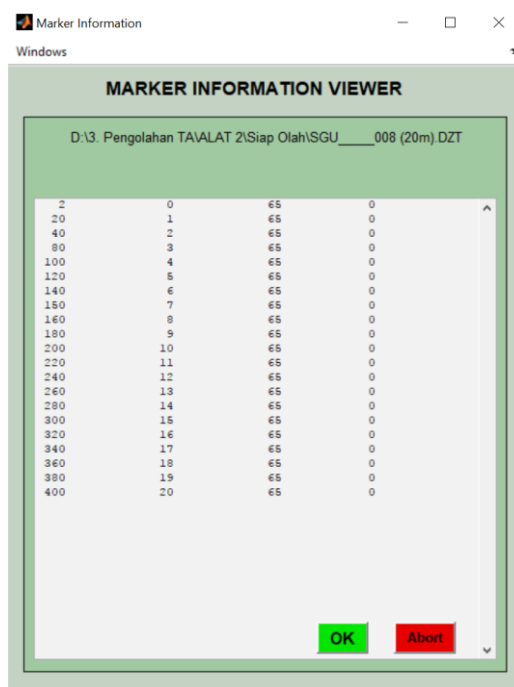
### 1. *Resample Trace*

*Trace* yang pada penelitian ini adalah gelombang EM merupakan data yang terekam dalam alat GPR. Jumlah *trace* yang terekam dalam panjang lintasan tertentu mempengaruhi resolusi horizontal. Semakin banyak *trace*, maka semakin baik pula resolusi horizontalnya. Jumlah *trace* tentu juga mempengaruhi

kecepatan pengolahan data. Penelitian ini mengubah trace awal (resampling trace) yaitu 2000 x 300 trace pada alat 1 dan 1400 x 400 trace pada alat 2.

## 2. *Make X,Y,Z Data*

Tidak semua data GPR perlu dilengkapi dengan data X, Y, Z. Data posisi X, Y, Z digunakan untuk membuat bentuk 3 dimensi. Apabila hasil akhirnya hanya berbentuk penampang, maka proses pembuatan data posisinya bersifat opsional. Hasil akhir penelitian ini berupa penampang 3 dimensi sehingga diperlukan pembuatan data posisi. Data posisi berbentuk table dengan urutan kolom pertama berupa nomor trace ke berapa, kemudian posisi X, Y dan Z sebagai elevasi.



The screenshot shows a window titled 'Marker Information' with a sub-window 'Windows' containing a 'MARKER INFORMATION VIEWER'. The viewer displays a table of data for the file 'D:\3. Pengolahan TAI\ALAT 2\Siap Olah\SGU\_\_\_\_008 (20m).DZT'. The table has four columns: Trace Number, X, Y, and Z. The data is as follows:

Trace Number	X	Y	Z
2	0	65	0
20	1	65	0
40	2	65	0
80	3	65	0
100	4	65	0
120	5	65	0
140	6	65	0
160	7	65	0
180	8	65	0
200	9	65	0
220	10	65	0
240	11	65	0
260	12	65	0
280	13	65	0
300	14	65	0
320	15	65	0
340	16	65	0
360	17	65	0
380	18	65	0
400	19	65	0
	20	65	0

At the bottom of the window are 'OK' and 'Abort' buttons.

Gambar 3. 3 Contoh Data posisi trace, X, Y, Zurut dari kiri ke kanan.

## 3. *Adjust Signal Position*

Data GPR memiliki sinyal yang membaca data udara (tidak dibutuhkan) yaitu jarak antara alat dengan tanah. Oleh karena itu perlu dilakukan pengembalian sinyal pada posisi yang sebenarnya, pengembalian sinyal pada posisi sebenarnya dikarenakan data yang dikeluarkan pada saat akuisisi data di lapangan memiliki

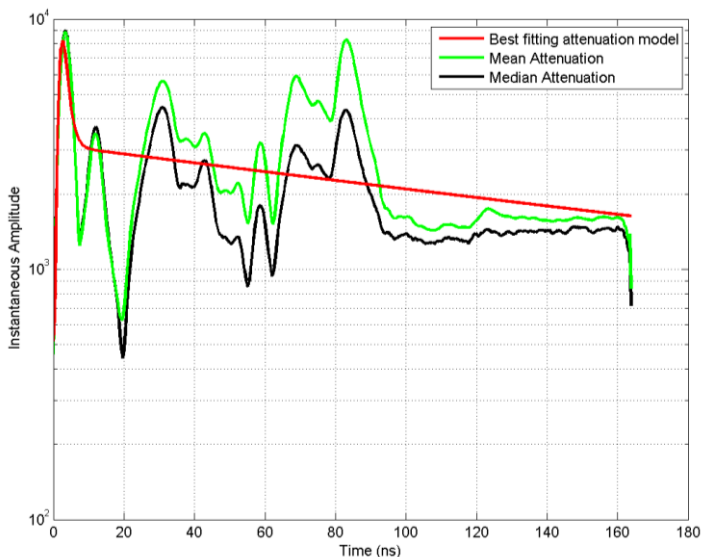
waktu jeda sebelum sinyal menyentuh permukaan. Proses *adjust signal position* dilakukan untuk menghilangkan jeda sinyal tersebut.

#### 4. *Dewow Filter*

Koreksi ini digunakan pada awal pemrosesan pada data GPR, filter ini digunakan agar dapat menghilangkan noise yang memiliki frekuensi sangat rendah. Wow merupakan noise yang memiliki nilai frekuensi sangat rendah, hal ini terjadi akibat adanya instrument elektronik yang tersaturasi oleh nilai amplitudo besar dari gelombang langsung dan gelombang udara.

#### 5. *Inverse Amplitude Decay*

Koreksi berikutnya adalah *inverse amplitude decay*. Proses ini dilakukan untuk memperkuat gain, karena sinyal radar yang dihasilkan oleh transmitter menjalar dibawah permukaan bumi dengan sangat cepat, oleh karena itu sinyal radar tersebut mengalami atenuasi, hal ini akan memberikan informasi sinyal menjadi tidak begitu terlihat, terutama pada saat sinyal melewati batuan maupun perlapisan tanah, oleh karena koreksi ini digunakan untuk memperkuat sinyal tersebut. *Mean attenuation* dipilih karena memiliki jangkauan amplitudo lebar.



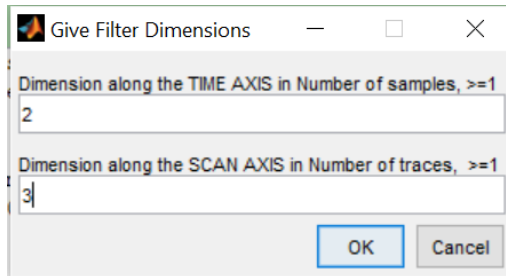
Gambar 3. 4 Kurva atenuasi pada proses *gain Inverse Amplitude Decay*.

#### 6. *Removal Global Background*

*Removal global background* ini berguna untuk mengurangi lintasan rata-rata (*tracering*) yaitu memberikan jarak jangkauan secara actual pada suatu bagian. Koreksi ini melakukan pembersihan pada latar belakang, menghilangkan energi koheren yang horizontal dengan frekuensi yang rendah.

### 7. Mean Spatial Filter

*Mean spatial filter* bertujuan untuk mengurangi noise yang berfrekuensi tinggi dan noise yang tidak beraturan. Dilakukannya *mean spatial filter* ini diharapkan agar memperkuat sinyal amplitudo dan melemahkan noise amplitudo. Pada pengolahan data *mean spatial filter* peneliti mencari parameter yang paling optimal dalam dimensi “*time axis*” dan “*scan axis*”. Semakin tinggi angka *mean spatial filter*, maka semakin banyak data trace yang diratakan. Pengolahan data GPR pada penelitian ini mengambil angka 2 dan 3 (angka rendah) agar data tidak terlalu berubah signifikan karena semakin banyak trace yang diratakan.



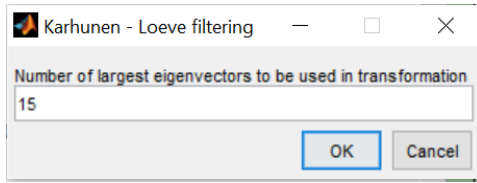
Gambar 3. 5 Data *Mean Spatial Filter* dengan Time Axis (kedalaman) dan Scan Axis (panjang lintasan).

### 8. Band Pass Filter

Tujuan dari proses ini adalah untuk menghilangkan frekuensi-frekuensi yang tidak diinginkan (*noise*), dengan membatasi nilai jangkauan frekuensi sinyal pada radargram. Band pass filter memiliki nilai yang berbeda – beda tergantung dari jenis frekuensi antenna alat GPR yang digunakan. Alat 1 dengan f antena 750 MHz dipilih frekuensi antara 400 – 2000 MHz menyesuaikan dengan kurva data. Alat 2 dengan antena 150 MHz dipilih frekuensi antara 50 – 400 MHz.

### 9. Karhunen Loeve Filter

Filter ini digunakan agar dapat menghilangkan atau mengurangi noise lateral dengan memanfaatkan transformasi *Karhunen Loeve (K-L)*. Pada pengolahan data *K-L filter* peneliti mencari parameter *number of largest eigenvectors* untuk mendapatkan hasil data penampang dan residual. Data residual akan dibuang ketika proses ini selesai dilakukan. Data residual didapat dari angka *number of largest eigenvectors* yang dipilih. Semakin rendah angka tersebut, maka semakin banyak data residual yang dibuang.



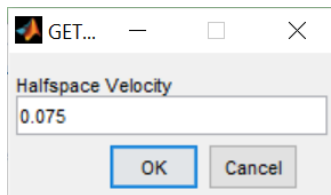
Gambar 3. 6 *K-L filter* dengan angka eigenvector 15.

#### 10. 1-D Velocity Model

Velocity model diperlukan untuk mengoreksi penetrasi trace agar sesuai dengan data geologi sehingga domain waktu nantinya dapat diubah menjadi domain kedalaman. Langkah pengolahan data ini juga memberikan pilihan migrasi model sehingga didapat data yang lebih sesuai dengan kondisi daerah pengukuran. Penelitian kali ini menggunakan lapisan homogen atau hanya menggunakan satu lapisan karena daerah penelitian diasumsikan hanya terdiri dari satu jenis tanah yang dominan yaitu *soil loamy dry*.

Tabel 3.1 Hubungan jenis tanah dengan rekomendasi velocity data GPR (Daniel, 1996).

No	Jenis Tanah	Permitivitas dielektrik	Rekomendasi Velocity m/ns
1	Soil sandy dry	4 – 6	0.12 – 0.15
2	Soil sandy wet	15 – 30	0.05 – 0.08
3	Soil loamy dry	4 – 6	0.05 – 0.08
4	Soil loamy wet	15 – 30	0.07 – 0.09
5	Soil clayey dry	4 – 6	0.12 – 0.15
6	Soil clayey wet	10 - 15	0.08 – 0.09



Gambar 3. 7 Data *Velocity model* lapisan homogen *soil loamy dry*.

#### 11. 1-D Phase Shifting Migration

Metoda ini digunakan untuk memindahkan data GPR ke posisi yang benar secara horizontal maupun vertikal. Ketidak pastian posisi ini disebabkan oleh efek difraksi yang terjadi ketika gelombang elektromagnetik mengenai ujung atau

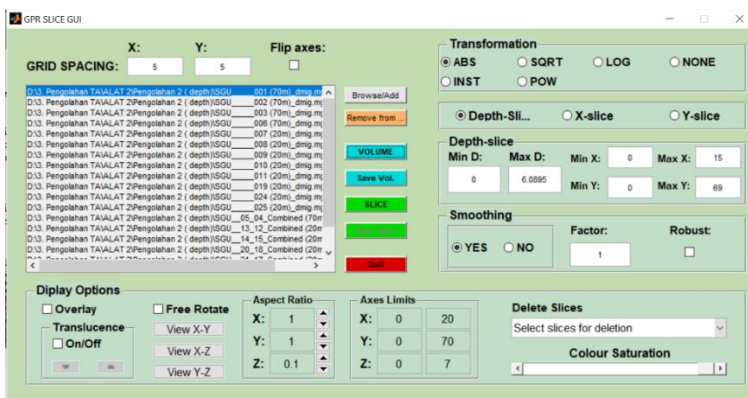
puncak suatu diskontinuitas akibat perbedaan struktur geologi seperti sesar atau lipatan.

## 12. 1-D Time to Depth Conversion

Konversi domain waktu pada trace menjadi kedalaman memudahkan interpretasi karena kesesuaiannya dan dapat dikorelasi dengan data sumur.

## 13. Create GPR Slice Data

Data penampang GPR yaitu lintasan Selatan – Utara dan Timur – Barat yang telah diubah menjadi domain waktu dan sudah diisi data posisi X, Y, Z dapat dimasukkan menjadi bentuk 3 dimensi. Proses pembuatan data 3 dimensi diisi oleh komponen X dan Y yang memiliki sepasi grid 5 meter pada alat 2. Sedangkan sepasi grid X adalah 5 meter dan Y adalah 10 meter pada alat 1.



Gambar 3. 8 Data input untuk pembuatan 3D.

## 14. 3D Slice Data

Penampang 2 dimensi dapat disajikan dalam bentuk 3 dimensi dalam fitur ini. Semakin rapat grid, maka semakin akurat penampang 3 dimensinya.

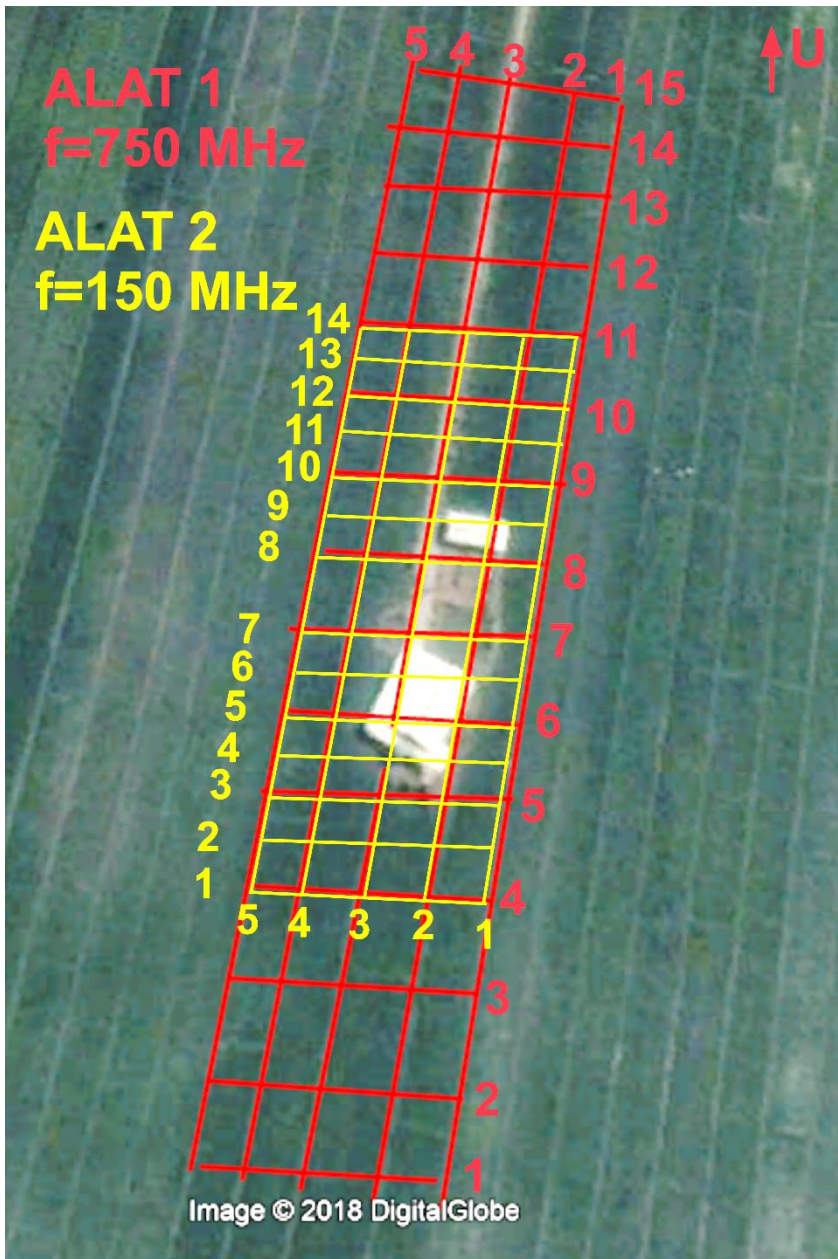
## 15. Isosurface Display

Tahap terakhir ini dilakukan untuk menampilkan data dalam bentuk *orthographic projection* dari *isosurface amplitude*. Isosurface adalah bentuk tampilan data yang diambil dari proses perambatan gelombang. Bentuk isosurface pada penelitian ini dipengaruhi oleh besarnya amplitude gelombang.

## 3.2. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan pada 21-23 April 2018 dan 14 Desember 2018. Akuisisi data *GPR* berlokasi di Situs Candi Sendang Agung, Sidoarjo. Terdapat 19 lintasan pada alat 2 dengan grid spasi 5 meter. Alat 1 memiliki 20 lintasan dengan spasi penampang 5 meter dan 10 meter.





Gambar 3. 9 Desain Akuisisi Data.

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## BAB IV

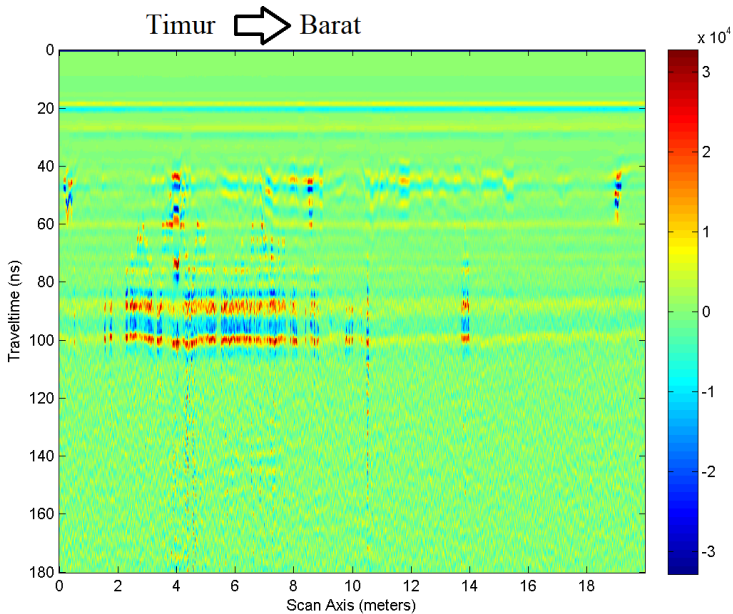
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Data

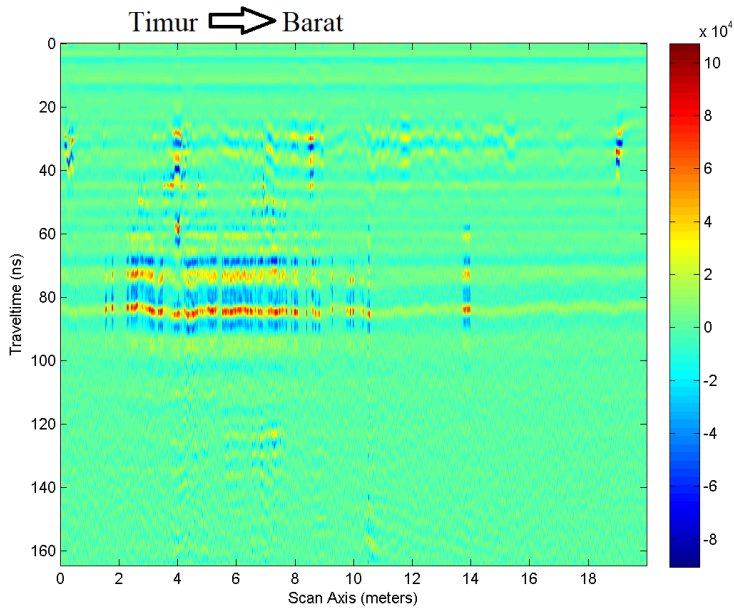
Telah dilakukan pengukuran menggunakan 2 alat GPR dengan antena masing – masing 750 MHz dan 150 MHz untuk mendapatkan peta persebaran struktur bangunan situs yang terpendam. Target yang dipetakan adalah struktur bangunan candi yang terpendam di kawasan sekitar Situs Sendang Agung, Sidoarjo. Nilai yang muncul pada pengolahan data adalah amplitudo gelombang. Semakin tinggi amplitudo maka terlihat ada konstanta dielektrik yang tinggi. Nilai konstanta dielektrik pada bidang *soil loamy wet* yaitu tanah di tempat pengukuran adalah 8 - 16. Target pengukuran adalah batu bata yang memiliki nilai konstanta dielektrik 7,63 – 9,54. Perbedaan konstanta dielektrik tersebut ditunjukkan dengan perbedaan besaran amplitudo perambatan gelombang. Parameter inilah yang selanjutnya digunakan untuk menentukan struktur bangunan situs yang terpendam di daerah penelitian.

#### 4.2 Hasil Pengolahan

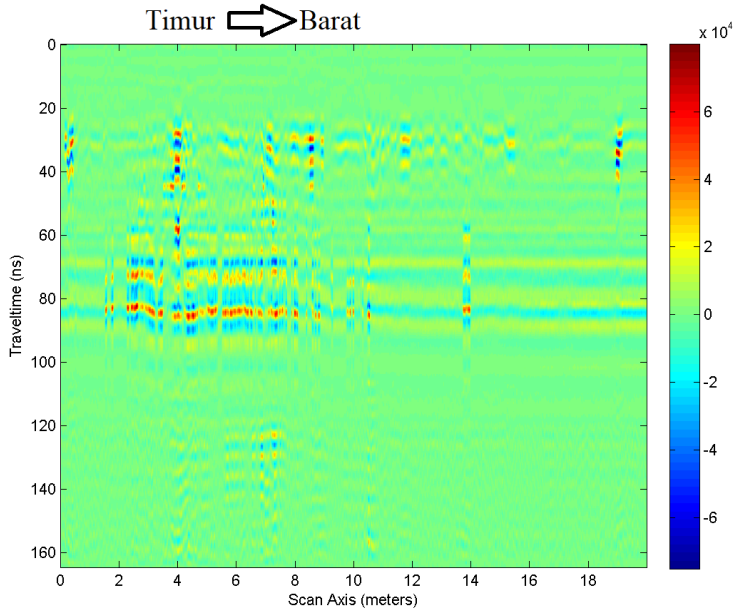
Data GPR diolah menggunakan MAT-GPR R3 dengan 4 tahapan yaitu basic handling, filtering, imaging, 3D Utility. Warna yang terdapat pada data yang diolah menunjukkan nilai amplitudo dengan skala Matlab.



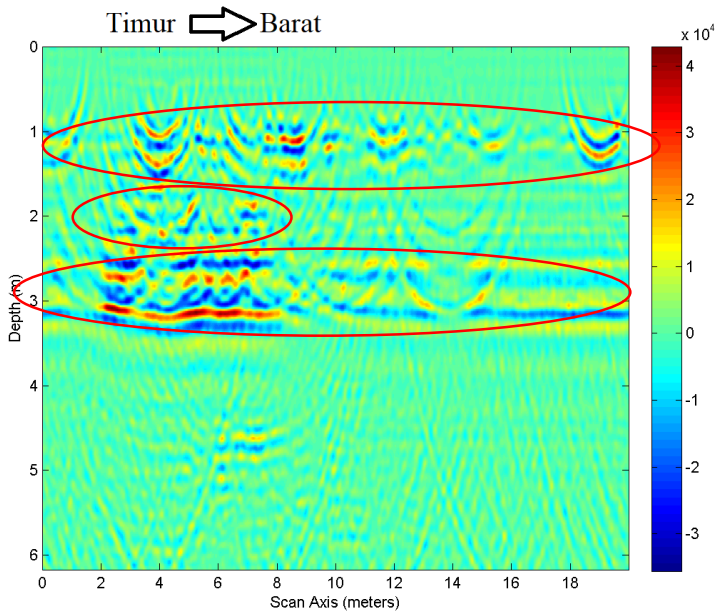
Gambar 4.1 Data Mentah Lintasan 13 Timur-Barat Alat 2 Sendang Agung.



Gambar 4.2 Hasil Pengolahan *Basic Handling MAT-GPR*.



Gambar 4.3 Hasil Pengolahan *Filtering MAT-GPR*.

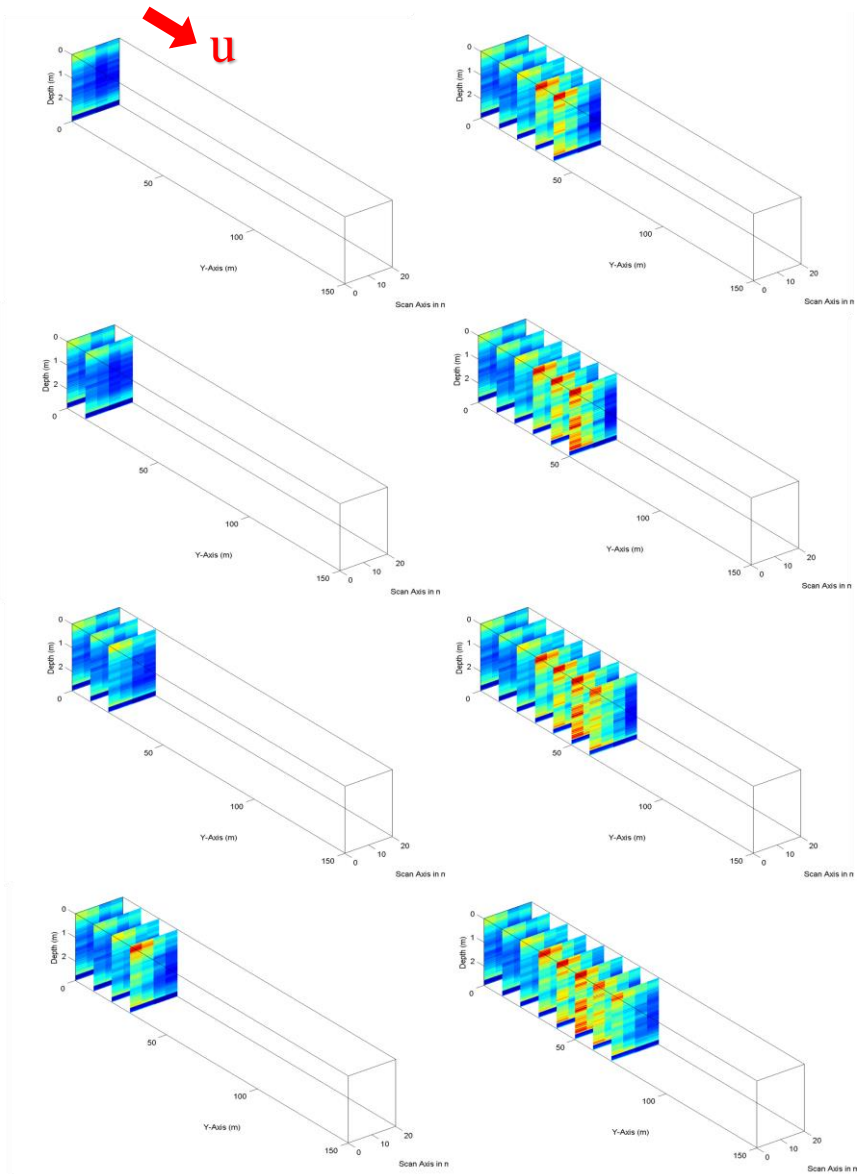


Gambar 4.4 Hasil Pengolahan *Imaging MAT-GPR*.

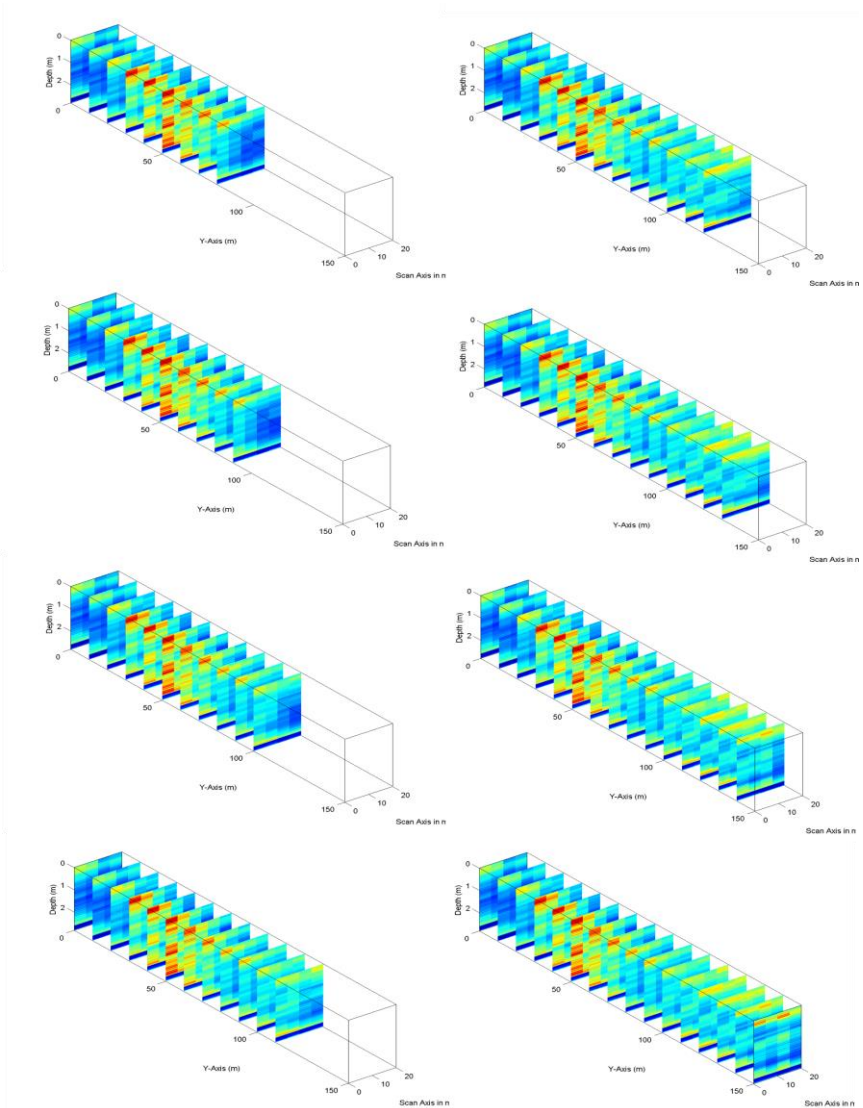
Contoh data pengolahan di atas merupakan data pengukuran lintasan Timur – Barat. Perbedaan nilai amplitudo sangat jelas terlihat pada lapisan dengan kedalaman mulai dari 1 meter hingga 3 meter. Perbedaan nilai amplitudo ini menunjukkan perbedaan jenis lapisan dengan nilai konstanta dielektriknya masing – masing. Warna yang dominan adalah hijau, warna hijau menjadi karakter amplitudo bidang homogen tempat dilakukannya pengukuran GPR. Nilai amplitudo tinggi merepresentasikan adanya anomali di dalam bidang homogen tersebut. Kenampakan batu bata sedikit berbentuk kurva karena dipengaruhi oleh kondisi bata yang tidak lagi utuh dan faktor tanah yang banyak memiliki celah celah air.

#### Alat 1

Penampang 2 dimensi disajikan lebih korelatif dalam bentuk 3 dimensi. Hasil pengukuran GPR menggunakan alat 1 (atena 750 MHz) mendapatkan penetrasi kedalamannya hingga mencapai 2, 8 meter. Nilai anomali yang muncul yaitu di kedalaman 0 – 0,2 meter pada seluruh lintasan Timur – Barat nomor 8 sampai 15. Nilai anomali ini ditunjukkan dengan kenampakan jalan dan area parkir berbentuk paving serta jalan pematang sawah yang memiliki amplitudo tinggi. Kedalaman dan amplitudo yang sama juga ditunjukkan di ujung lintasan 1 – 3 karena adanya kenampakan pematang sawah yang keras. Anomali di permukaan juga secara konsisten ditunjukkan pada kedalaman 0 – 0,7 meter pada lintasan 4 sampai 9 yang tepat berada di samping bangunan atau pondasi urukan paving.

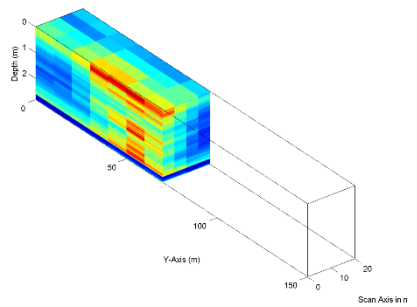
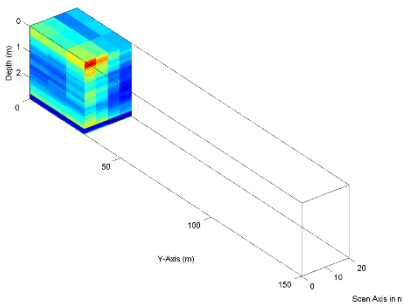
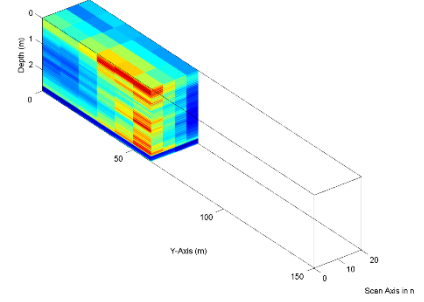
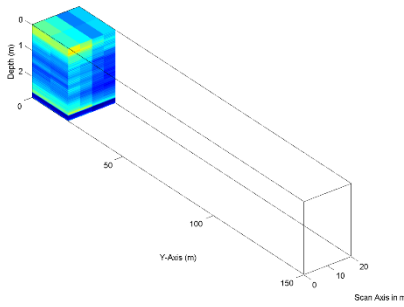
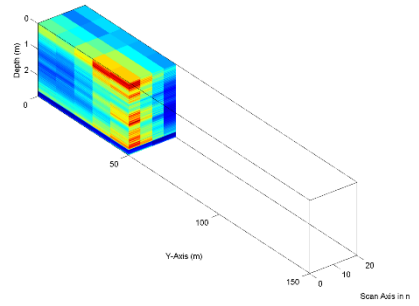
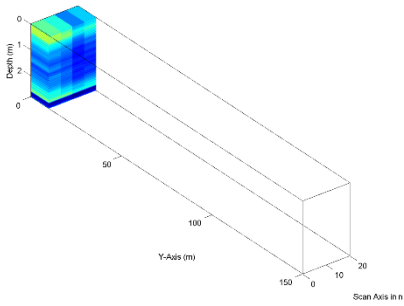
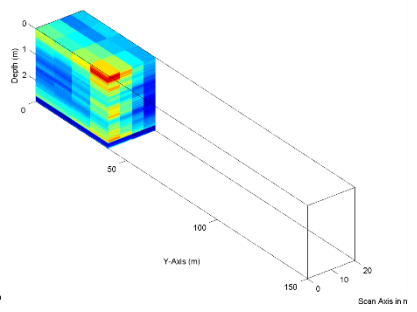
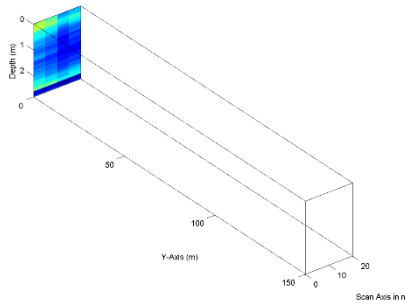




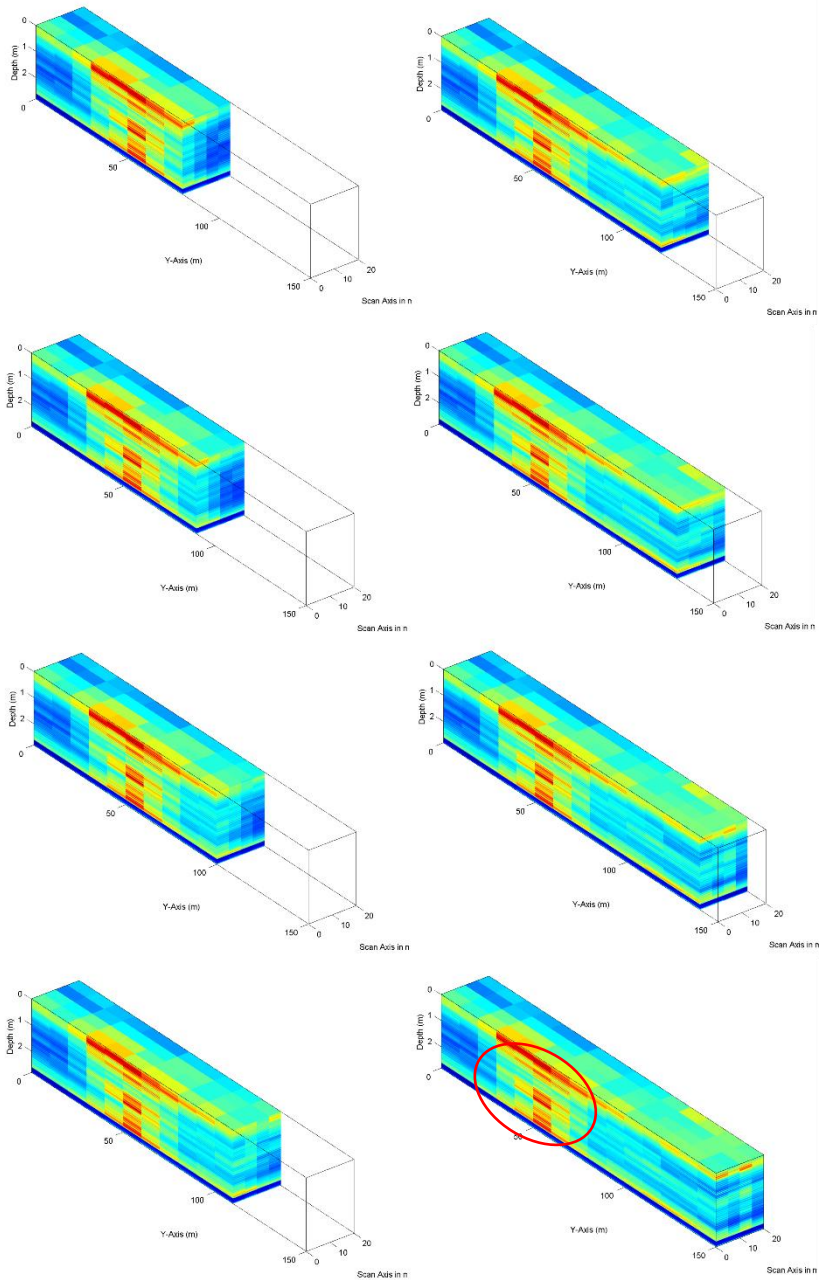


Gambar 4.5 Penampang 3D GPR Alat 1 (150 x 20 x 2,8 meter).

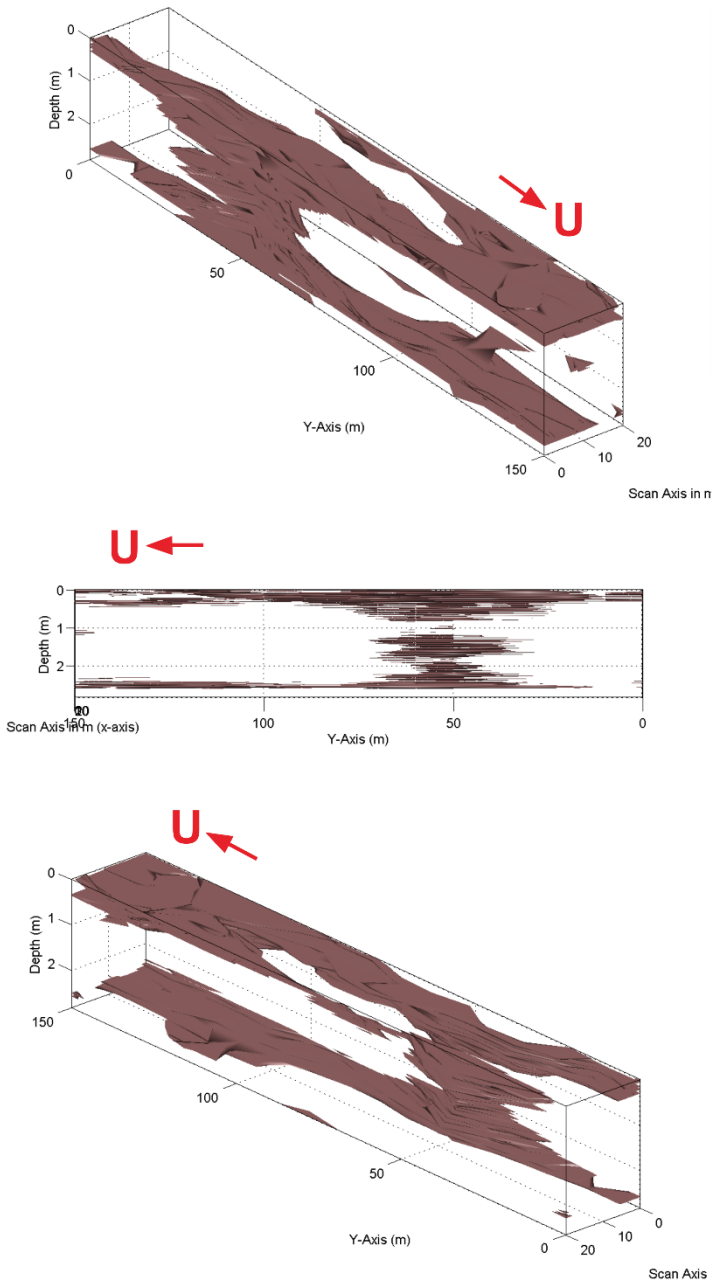
Data amplitudo tinggi berwarna hijau kuning – merah terlihat pada kedalaman 1 meter untuk lintasan 5, 6, 7 pada meter ke 0 – 7 dan kedalaman 2,4 meter untuk lintasan 1 – 10 pada meter ke 0-8. Anomali kedalaman 2,4 meter diteruskan pada lintasan 11 – 15 namun memiliki kemenerusan yang lebih lebar yaitu dari meter ke 0 – 17 ke arah barat. Perbandingan nilai amplitudo lapisan tanah dan batu bata menunjukkan konstanta dielektrik tertinggi bata sebesar 9,42.





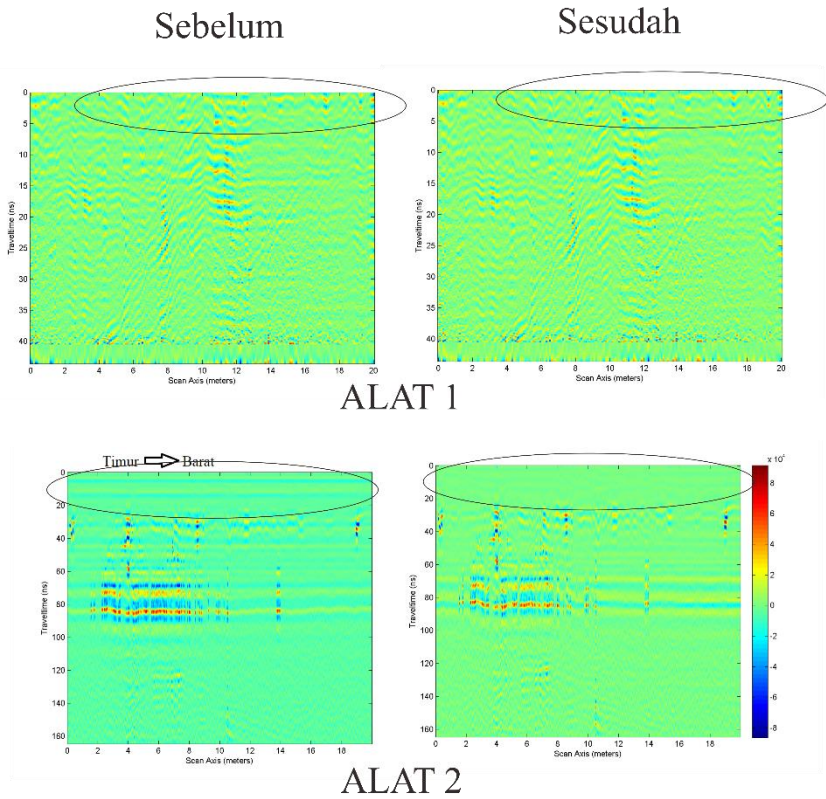


Gambar 4.6 Sayatan 3D GPR Alat 1 (150 x 20 x 2,8 meter).



Gambar 4.7 Hasil *Isosurface Display* Alat 1.

Data yang berbentuk sayatan penampang 3 dimensi dapat disajikan menjadi rekonstruksi struktur bangunan yang terekam oleh alat. Warna coklat pada gambar 4.6 menunjukkan kenampakan benda dengan konstanta dielektrik tinggi. Pondasi bangunan, tempat parkir paving, jalanan paving, pematang sawah yang keras dibaca oleh alat GPR frekuensi atena 750 MHz ini sama dengan struktur batu bata yang terpendam di dalam tanah. Frekuensi atena yang tinggi hampir tidak memiliki perbedaan saat dilakukan *removal global background* dibuktikan dengan gambar 4.8 Perbandingan penampang.

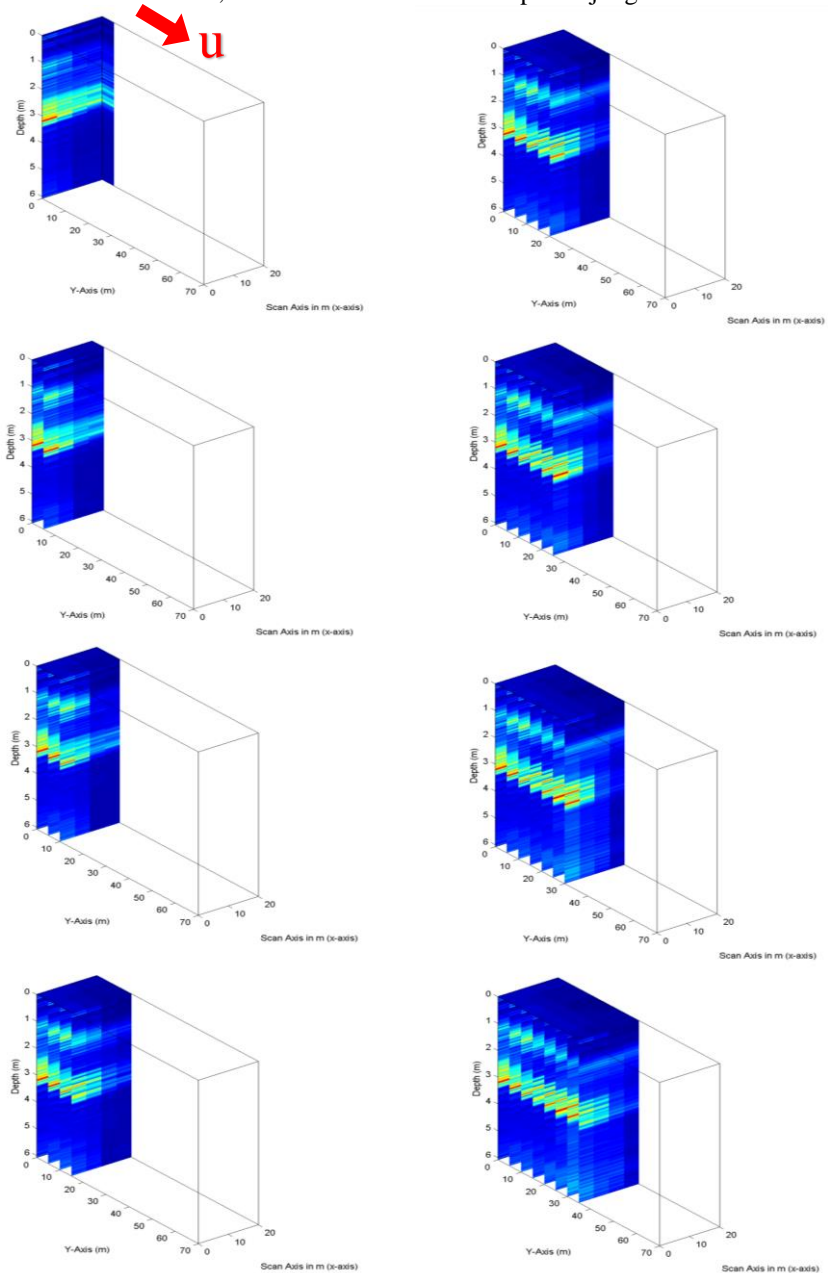


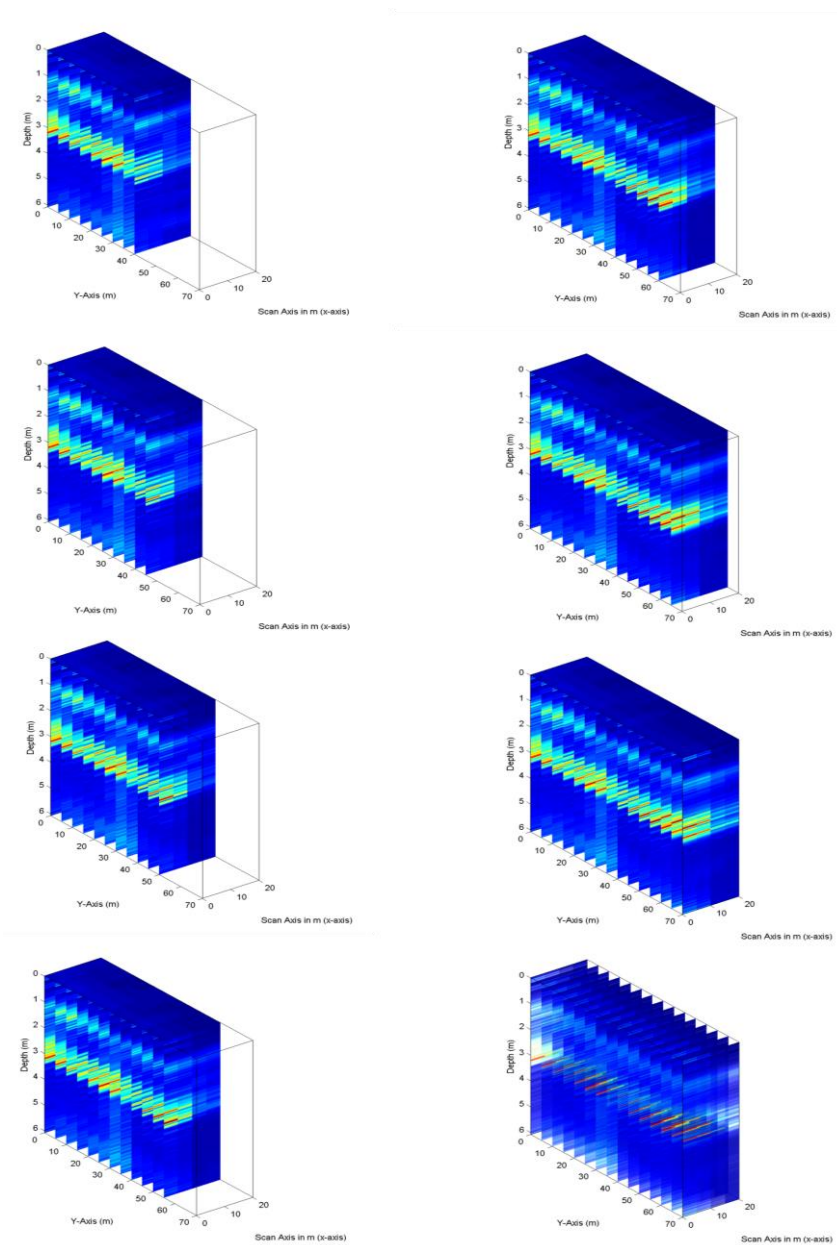
Gambar 4.8 Perbandingan penampang hasil pengukuran alat 1 dan alat 2 sebelum dan sesudah *filter removal global background*.

**Alat 2**

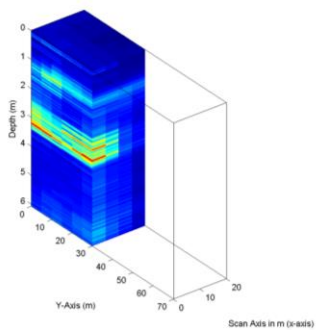
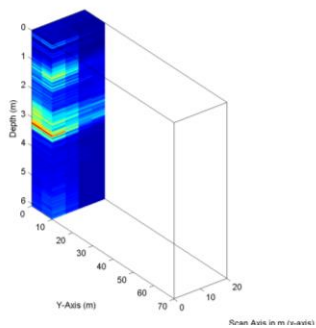
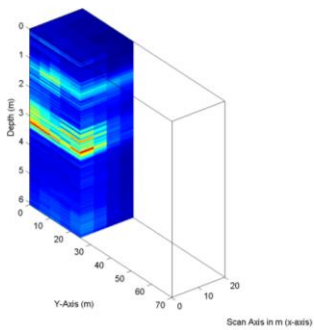
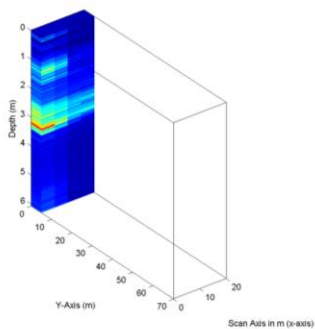
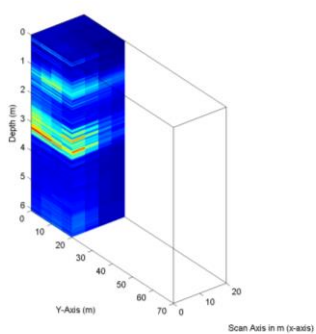
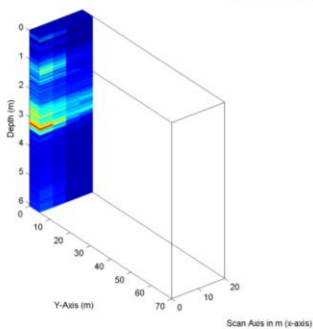
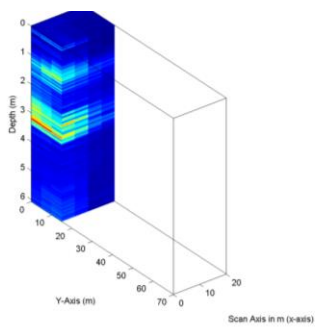
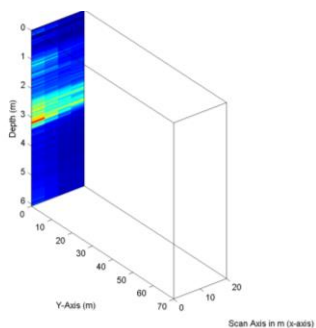
Atena berfrekuensi lebih rendah sangat mudah untuk menghilangkan efek penetrasi permukaan seperti ditunjukkan pada gambar 4.7. Hasil pengolahan data alat 2 menunjukkan adanya lapisan anomali pada kedalaman 1 – 1,2 meter dan 2,4 – 3,2 meter pada semua lintasan Timur – Barat. Lapisan anomali kedalaman 1 – 1,2 meter memiliki kemenerusan ke arah barat dari meter ke 0 –

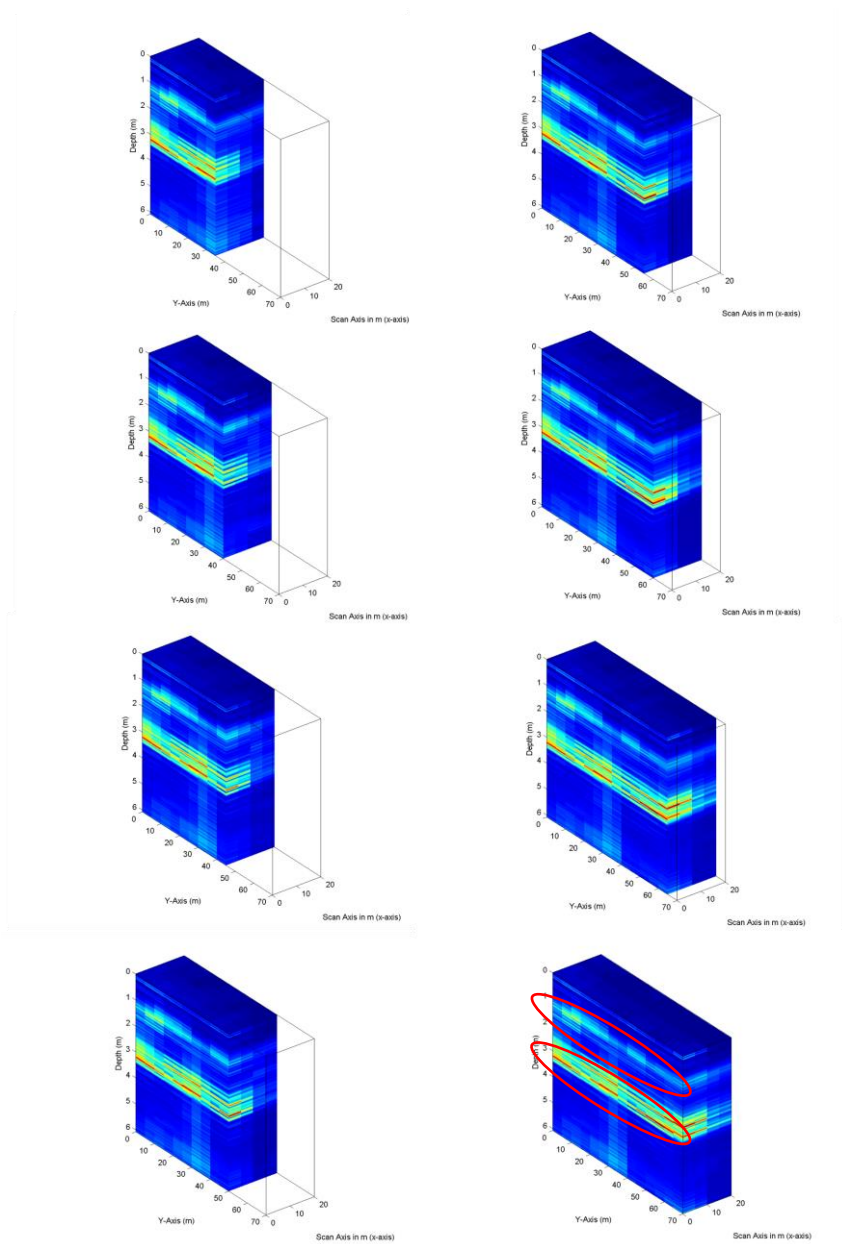
8. Sedangkan lapisan anomali bawah memiliki kemenerusan yang lebih panjang yaitu dari meter 0 – 17, serta 0 – 20 meter ke barat pada ujung utara dan selatan.





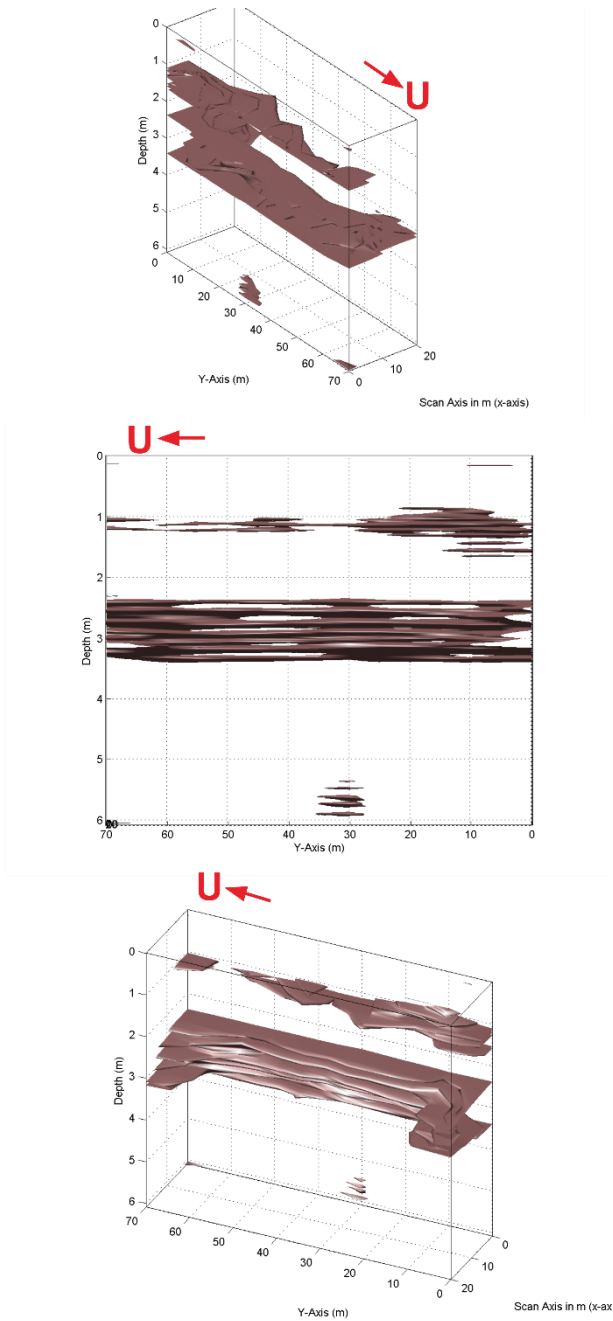
Gambar 4.9 Penampang GPR Alat 2 (70 x 20 x 6,2 meter).





Gambar 4.9 Sayatan 3D GPR Alat 2 (70 x 20 x 6,2 meter).





Gambar 4.10 Hasil *Isosurface* Display Alat 2.



### 4.3 Pembahasan

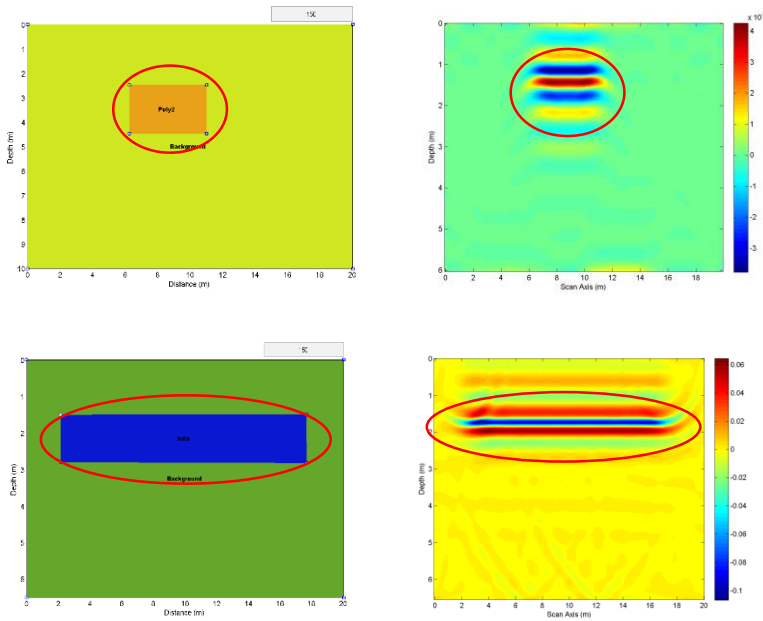
Data GPR yang diolah menggunakan MAT-GPR menunjukkan nilai amplitudo yang mengindikasikan perbedaan konstanta dielektrik. Pengukuran GPR dilakukan 2 kali dengan alat yang berbeda. Alat yang pertama memiliki penetrasi kedalaman rendah yaitu 3 meter. Sedangkan alat kedua memiliki penetrasi kedalaman 6 meter. Manfaat menggunakan dua alat ini adalah kedua alat dapat saling mengoreksi dan dibuktikan dengan data sumur terlihat pada gambar 4.9 dan 4.1. Sistem yang digunakan adalah merupakan sistem aktif dimana dilakukan ‘penembakan’ pulsa-pulsa gelombang elektromagnetik (pada interval gelombang radar) untuk kemudian dilakukan perekaman intensitas gelombang radar yang berhasil dipantulkan kembali ke permukaan (Quan, Y., Harris, Y. M., 1997).

Menurut penelitian terdahulu tentang metode GPR untuk menentukan struktur batu bata bawah permukaan yang dilakukan oleh Wostman M. (1998) batuan penyusun memiliki konstanta dielektrik 7,63 – 9,54. Dimana kecepatan gelombang radar sangat bergantung pada konstanta dielektrik dari medium yang dilalui oleh gelombang tersebut.

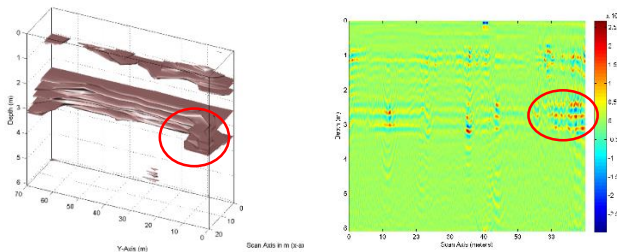
Tabel 4.1 Hubungan jenis medium rambatan gelombang EM dengan nilai konstanta dielektrik.

No	Jenis Tanah	$\epsilon_r$ (Jacob, 2015)	$\epsilon_r$ (Daniel, 1996)
1	Soil sandy dry		4 – 6
2	Soil sandy wet		15 – 30
3	Soil loamy dry		4 – 6
4	Soil loamy wet		15 – 30
5	Soil clayey dry		4 – 6
6	Soil clayey wet		10 - 15
7	Brick wall	3.88 – 4.26	
8	Concrete Brick	7.63 – 9.54	

Dari hasil proses pembuatan penampang 3 dimensi menggunakan perangkat lunak pengolahan MAT-GPR diperoleh hasil berupa penampang 3 bidang, penampang bidang-x, bidang-y, dan bidang-z. Penampang bidang tersebut memiliki nilai amplitudo yang berasosiasi dengan citra warna yang berbeda-beda bergantung besarnya nilai konstanta dielektrik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6, dan Gambar 4.9. Pada gambar hasil penampang 3D tersebut menunjukkan masing-masing nilai amplitudo batuan yang dilihat dari citra warna penampang struktur lapisan bawah permukaan. Sebaran nilai amplitudo ini selanjutnya dikonversi menjadi nilai konstanta dielektrik dengan memasukkan nilai konstanta dielektrik medium tanah tempat penelitian sesuai referensi tabel yang dibuat oleh Daniel (1996).



Gambar 4.11 *Forward modeling* dan bentuk penetrasi gelombang EM.

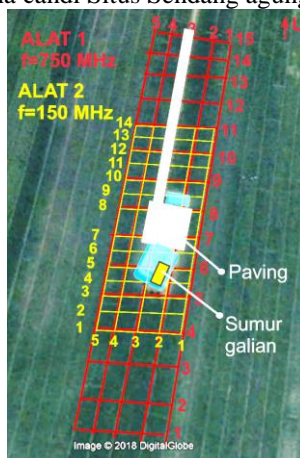


4.12 Penampang Lintasan 3 (Utara Selatan) Alat 2.

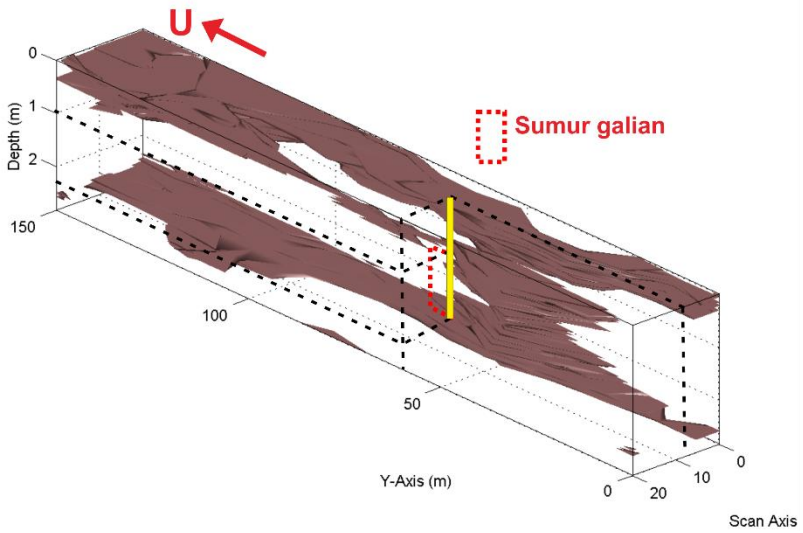
Prosedur atau cara membaca data dapat dibuktikan dengan metode *Forward Modeling*. Metode ini bertujuan untuk membandingkan kenampakan yang menunjukkan adanya batu bata pada data pengukuran apakah sama dengan model batu bata yang dibuat dalam MAT-GPR. Pembuatan model diisi dengan parameter antena alat GPR, konstanta dielektrik tanah yaitu 4 dan batu bata yaitu 9. *Forward Modeling* ditunjukkan oleh gambar 4.11 *Forward modeling* dan bentuk penetrasi gelombang EM. Contoh penampang hasil pengukuran ditunjukkan oleh gambar 4.12 Penampang Lintasan 3 Alat 2. Kemiripan gambar penampang membuktikan bahwa data pengukuran telah dibaca dengan tepat.

Secara umum, situs Sendang Agung disusun oleh lempung pasir (*loamy soil*). Daerah penelitian merupakan daerah persawahan dengan kandungan air yang normal untuk pengukuran GPR. Hasil pengolahan data gelombang elektromagnetik GPR menunjukkan klasifikasi skala amplitudo yang dikonversi menjadi nilai dielektrik sehingga dapat diinterpretasikan jenis batuan penyusunnya ditunjukkan pada Tabel 4.1. Berdasarkan profil penampang 3D, terlihat kontras amplitudo yang cukup tinggi dengan sekitarnya diindikasikan sebagai struktur batuan penyusun bangunan bawah permukaan. Indikasi struktur batuan penyusun ini dikorelasi dengan data sumur yang telah digali. Pengukuran GPR tidak dapat menjangkau tepat di atas sumur namun dapat menjangkau dan membaca data tepat di samping sumur ( $< 2$  meter) yang dipastikan ada kemenerusannya. Distribusi struktur Situs Sendang Agung ditunjukkan oleh warna coklat pada Gambar 4.13 Korelasi data sumur alat 1 dan 4.12 Korelasi data sumur alat 2.

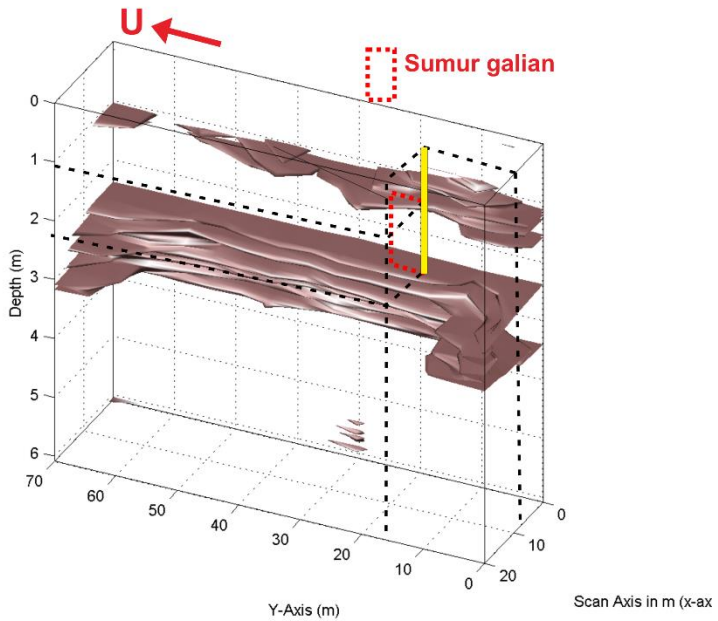
Data sumur galian menunjukkan terdapat kenampakan struktur bangunan sedalam 1 meter. Struktur bangunan ditunjukkan dengan garis putus – putus berwarna merah. Penggalan sumur dilakukan pada tahun 2014 dan kondisi 2018 sudah tertutup oleh air sehingga tidak dapat didokumentasikan. Menurut tim penggali situs sekaligus pemilik area persawahan yaitu Bapak Gintono dalam wawancaranya lapisan pertama situs ditemukan di kedalaman sekitar 1,5 meter dan menemukan lapisan kedua pada kedalaman sekitar 3 meter diukur dari tanah urukan. Panjang lokasi galian yang melintang dari arah selatan menuju utara adalah 5 meter. Hasil pengolahan *isosurface* menunjukkan data yang cocok dengan data sumur galian yaitu terdapat struktur bangunan yang tepat berada di samping sumur galian. Kecocokan kedua yaitu berupa ditemukannya batas dengan lapisan kedua daengan kedalaman 2,4 meter yang sesuai dengan data distribusi struktur bangun candi Situs Sendang agung.



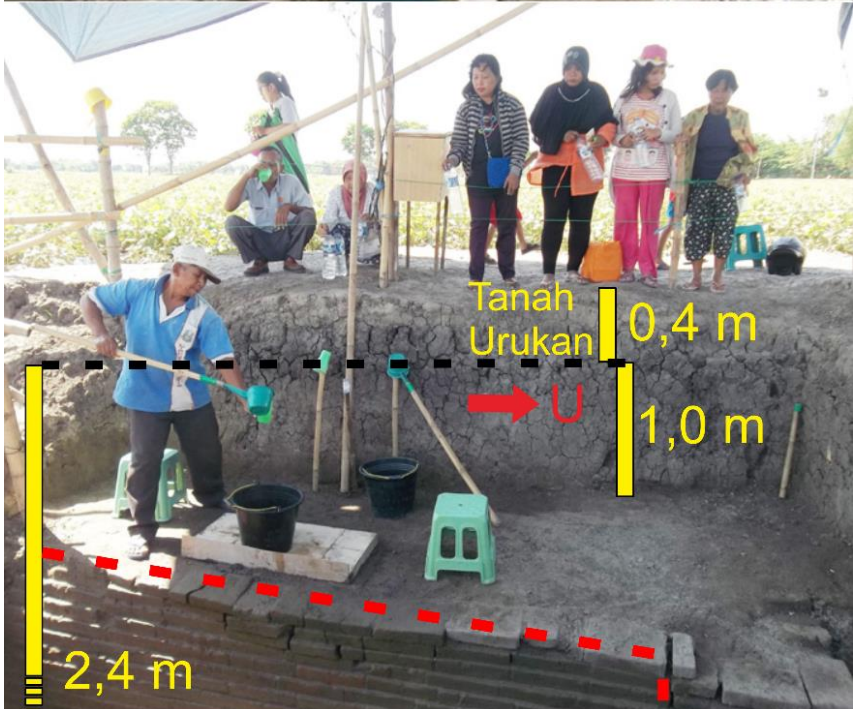
Gambar 4.14 Denah sumur galian Situs Sendang Agung.



Gambar 4.14 Korelasi data sumur Alat 1.



Gambar 4.15 Korelasi data sumur Alat 2.



Gambar 4.16 Sumur galian Situs Sendang Agung. (sumber Jawa Pos, 2015)

Perbedaan yang terlihat diantara alat 1 dan alat 2 pada gambar sayatan penampang 3D adalah distribusi warnanya. Alat 1 memiliki frekuensi antara 750 MHz sehingga memiliki resolusi tinggi yang memungkinkan untuk dapat membaca benda ukuran di atas 5 centimeter. Sedangkan alat 2 memiliki frekuensi antara 150 MHz sehingga memiliki resolusi rendah yang memungkinkan untuk dapat membaca benda ukuran di atas 15 centimeter. Resolusi ini menjadikan gambar penampang pada alat 2 didominasi warna biru yaitu tanah. Disamping itu alat pertama yang berfrekuensi tinggi dapat secara jelas membaca struktur pondasi paving atau bangunan yang bukan merupakan bagian dari Situs Candi Sendang Agung.

Hasil pengolahan data GPR penelitian, nilai konstanta dielektrik yang diperoleh yaitu dari rentang 8,14 – 9,42. Nilai ini diambil dari hasil koefisien refleksi amplitudo tanah dan amplitudo batuan. Rentang konstanta tertinggi ditunjukkan pada pengukuran alat pertama sedangkan nilai terendah ditunjukkan pada pengukuran alat kedua. Tiap-tiap nilai amplitudo telah diwakili oleh kontur warna yang berbeda-beda sehingga memudahkan untuk melihat distribusi konstanta dielektrik bawah permukaannya. Kondisi geologi lokasi penelitian didominasi dengan tanah lempung pasir, hal ini tampak pada pencitraan di setiap sayatan yang ditunjukkan dengan warna biru. Batuan situs yang merupakan batu bata yang terdapat di bawah permukaan diduga merupakan terusan atau sebaran dari situs yang telah di ekskavasi ditunjukkan dengan warna hijau kuning hingga merah dengan nilai amplitudo berkisar antara  $3 - 6 \times 10^4$  nanometer. Nilai amplitudo menentukan nilai konstanta dielektrik yang digunakan sebagai acuan ditunjukkan pada Tabel 2.1 jenis batuan menurut Daniel (1996). Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa aplikasi metode *Ground Penetrating Radar* 3D mampu menginterpretasikan perbedaan konstanta dielektrik bawah permukaan secara 3 dimensi dengan hasil yang resolusif. Dengan demikian pada lokasi penelitian Situs Sendang Agung terdapat banyak distribusi struktur bangunan yang masih terpendam.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Lokasi penelitian Situs Sendang Agung memiliki kemenerusan dengan titik sumur yang di eskavasi yaitu lapisan pertama pada kedalaman 1 – 2,4 meter.
2. Terdapat lapisan kedua pada kedalaman 2,4 – 3,2 meter dengan konstanta dielektrik 8,14 – 9,42 yang mengindikasikan batu bata dan memiliki angka yang sama dengan lapisan pertama.
3. Bangunan situs yang terpendam memiliki dimensi dengan panjang 150 meter (sepanjang lintasan pengukuran), lebar 5-10 meter dan ketinggian total 2,2 meter.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Perlu ditambahkan pemetaan lebih luas.
2. Perlu adanya penelitian umur batuan untuk mengulas sejarah pembangunannya.
3. Penambahan data bor untuk melihat litologi bawah permukaan.
4. Bekerja sama dengan berbagaidisiplin ilmu untuk meniliti situs Sendang Agung.
5. Pengambilan sample batuan secara langsung dan pembuktian zona yang memiliki anomaly amplitudo tinggi.

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



## DAFTAR PUSTAKA

- Alan E. Musset, M. Aftab Khan . (1999). *Looking Into The Earth*. New York: New York pp 227-230.
- Algeo, J. S. (2016). Using GPR Early-Time Amplitude Analysis to Monitor Variations in Soil Water Content at A Clay-Rich Agricultural Site in Response to Irrigation. *Geological Society of America - 51st Annual Meeting of the North-Central Section*, DOI:10.1130/abs/2016NE-272017, 50-62.
- Arisona. (2009). *Migrasi Data Georadar Dengan Metode Pergeseran Fasa*. Makasar: Universitas Haluleo.
- Bemmelen, R. W. (1949). *The Geology of Indonesia, Vol. 1A*. The Hague: Gov. Printed Offices.
- Bosch, F. P., & Muller, I. (2001). Continuous Gradient VLF Measurements: A New Possibility For High Resolution Mapping Of Karst Structures. *First Break*, 343-350.
- Boubekraoui, S., Courteaud, M., Aubert, M., & Coudray, J. (1998). New Insights into the Hydrogeology of a Basaltic Shield Volcano from a Comparison between Self-Potential and Electromagnetic Data: Piton de la Fournaise, Indian Ocean. *Journal of Applied Geophysics*, 165-177.
- Connor, C., Sanford, W. E., & MacNeil, R. (2005). Geophysical Investigations of Volcano Hydrogeology at Masaya Caldera, Nicaragua.
- Daniel, D. (1996). *High Resolution Radar Detection of Buried Anti-Personnel Mines for Humanitarian Clearing Operations. Proceedings of The 6th International Symposium on Measurement and Control in Robotics*. Brussel: pp. 542-551.
- Hugenschmidt, J., Maser, K., Dawley, C. B. (1997). *GPR Inspection of Mountain Motorway in Switzerland*. Duebendorf: Swiss Federal Laboratory for Material and Testing EMIPA, uberlandstasse, 129, 8600.
- Jacob, R. (2015). Ground-Penetrating Radar Velocity Determination and Precision Estimates Using Common-Mid-Point (CMP) Collection with Hand-Picking, Semblance Analysis, and Cross-Correlation Analysis: a Case Study and Tutorial for Archaeologists. *Bucknell Digital Commos*, Bucknell University, 19.
- Katili, J. A. (1989). *Geologi Indonesia*. Ikatan Ahli Geologi Indonesia.
- Lane, J. W., Heni, F. P., Placzek, G., Wright, D. (1996). *Use of Borehole Data Methode to Detect A Saline Tracer in Fractured Crystalline Bedrock at Mirror Lake Grafton Country, New Hampshire, USA*. New Hampshire: Conference GPR pp. 185-190.
- Pasasa, L. (1999). *Modeling of Ground Penetrating Radar Data*. Surabaya: PIT-HAGI 24.

- Potensi Kabupaten dan Kota Mojokerto*. (n.d.). Retrieved Januari 23, 2018, from bappeda.jatimprov.go.id: <http://bappeda.jatimprov.go.id/bappeda/wp-content/uploads/potensi-kab-kota-2013/kab-mojokerto-2013.pdf>
- Pratiknyo, P. (2016). Hidrogeologi Kawasan Cagar Budaya Gunung Penanggungan. *JIK TekMin, Volume 28 Nomor 1*.
- Quan, Y., Harris, Y. M. (1997). *Seismic Attenuation Tomography Using The Frequency Shift Methode*. New York: Geophysic 62, 895-905.
- Rios-Sanchez, M., Gierke, J. S., & Munoz-Martinez, T. (2012). Hydrogeological Characterization of the Plateaus Region of the Quito Aquifer System Using Remote Sensing, Digital Geomorphology, and Geophysics. *Conference: World Environmental and Water Resources Congress*.
- Rochman, J. W. (2017). Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis untuk Mengetahui Bawah Permukaan di Komplek Candi Belahan (Candi Gapuro). *Geosaintek*, 93-98.
- Sandmierer, K. J. (2012). *Reflexw for Ground Penetrating Radar*. Jerman: Karlsruhe.
- Santoso, D. (2009). *Kapita Selekt Ilmu dan Teknik Geofisika Ground Penetrating Radar Panduan REFLEXW Versi 5.5*. Bandung: ITB.
- Supardjono dan Haryono. (1992). *Peta Geologi dan Sumberdaya Mineral*. Jakarta: ESDM vol. 16.
- Telford, W. M. (2012). *Applied Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wostman, M. (1998). Investigation of dielectric properties of brick materials as a function of moisture and salt content using a microwave impulse technique at very high frequencies. *NDT & E International Volume 31 issue 4*, 259 -263.

## LAMPIRAN

Tabel 6.1 Daftar kegiatan dan Indikator Ketercapaiannya.

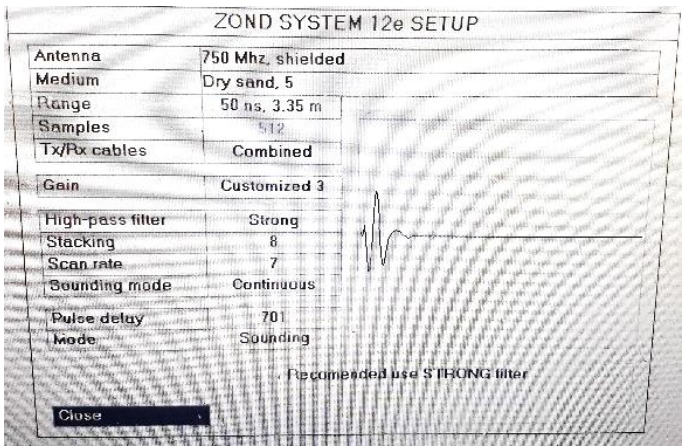
No	Kegiatan	Maret				September				Oktober			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Orientasi Medan												
2	Studi Literatur												
3	Akuisisi Data												
4	Pengolahan Data												
5	Penyusunan Laporan												
6	Asistensi dan Revisi												
7	Sidang Akhir												
No	Kegiatan	November				Desember				Januari			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Orientasi Medan												
2	Studi Literatur												
3	Akuisisi Data												
4	Pengolahan Data												
5	Penyusunan Laporan												
6	Asistensi dan Revisi												
7	Sidang Akhir												

Proses dimulai dari minggu pertama pada bulan Maret 2018. Kegiatan dilanjutkan pada akhir bulan September setelah melalui tahapan sidang proposal. Kemudian akuisisi data dilakukan kembali dengan menggunakan alat GPR

dengan frekuensi 150 MHz yang berbeda dengan alat pada akuisisi data yang pertama yaitu 750 MHz.



Gambar 6. 1 Proses akuisisi data GPR Situs Candi Sendang Agung.



Gambar 6. 2 Setting Kaliberasi Alat 1 GPR.

## BIODATA



Penulis bernama Miftakhul Syaifuddin yang selalu bermimpi untuk dapat membuat jembatan antar galaksi atau alat teleportasi ini lahir di Jombang 9 Februari 1996. Pendidikan formal penulis ditempuh mulai dari tahun 2000 di Tk Muslimat Ngoro, lulus SDN Kauman 1 Ngoro Jombang pada tahun 2008, lulus SMPN 1 Ngoro Jombang tahun 2011. Memasuki jenjang pendidikan SMA, mendapatkan beasiswa *Sampoerna Academy* untuk bersekolah asrama di SMAN 10 Malang *Sampoerna Academy* pada tahun 2011 sampai tahun 2014. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) dan resmi diterima menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS pada tahun 2014.

Sejak usia 11 tahun pemuda yang akrab dipanggil Syaif atau Mifta ini aktif berorganisasi dimulai dari pramuka, OSIS hingga pernah menjadi Kepala Divisi Manajemen dan Komunikasi Dewan Riset Muda SMAN 10 Malang *Sampoerna Academy*. Penulis aktif di bidang jurnalistik dan mendapat sertifikat penghargaan jurnalis muda Kompas pada tahun 2012. Semasa menempuh perguruan tinggi, penulis aktif di bidang penelitian, organisasi dan kesenian teater. Penelitian pertama penulis adalah membuat CAKSURA-O (*Coral Kept Submarine Autonomus Observer*) pada tahun 2015. Penulis pernah tampil sebagai aktor pada pementasan teatrical perjuangan 10 Nopember di Tugu Pahlawan dalam acara Tour De Surabaya tahun 2015. Keanggotaan Organisasi Mahasiswa nasional juga pernah dijalankan, yaitu sebagai anggota Divisi Kreatif HMGZINE yang berada di bawah naungan Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia. Periode tahun 2016/2017 Miftakhul Syaifuddin menjabat sebagai Ketua *Student Representative Council* (SRC) Teknik Geofisika. Kemudian penulis aktif dalam kampanye kegemilangan pada tahun 2018.

Pengalaman lain yang penulis dapatkan sewaktu menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS yaitu pernah melakukan Kerja Praktik (KP) di kantor Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panasbumi (PSDMPB) yang bernaung di bawah kementerian Eksplorasi Sumberdaya Mineral (ESDM). KP penulis mengambil judul "*Analisa Struktur Endapan Laterit Daerah X, Jayapura dengan Metode GPR*". Berbagai seminar dan pelatihan pun ditempuh penulis seperti menjadi peserta *short course* "Pelatihan Pemetaan menggunakan Drone" pada tahun 2017 dan menjadi peserta konferensi Internasional "*ITS International Geoscience Convention by Prof. Hou Wei Chen*" pada tahun 2017.

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***